Gérald Quatrehomme

# Traité d'anthropologie médico-légale

de boeck

# Traité d'anthropologie médico-légale

## Chez le même éditeur

BEAUTHIER J.-P., LEFÈVRE P., Traité d'anatomie. De la théorie à la pratique palpatoire (en 3 volumes)

BEAUTHIER J.-P., Traité de médecine légale, 2e éd.

BUTLER P., HEALY J.C., MICHELL A.W.M., Radiologie anatomique

DALLEY A.F., MOORE K.L., AGUR A.M.R., Anatomie médicale.
Aspects fondamentaux et applications cliniques, 3e éd.

CHARABIDZE D., GOSSELIN M., Insectes, cadavres et scènes de crime.
Principes et applications de l'entomologie médico-légale

ROUGÉ-MAILLART C., PRÉVEL J., et COLL., Mémento des urgences médico-légales

TANK P., GEST T., Atlas d'anatomie

Quatrehomme

# Traité d'anthropologie médico-légale

Révision scientifique de Jean-Pol Beauthier et Philippe Lefèvre

de boeck

Schémas de Benjamin Maes

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans votre domaine de spécialisation, consultez notre site web: **www.deboeck.com**

© De Boeck Supérieur s.a., 2015
1re édition
Fond Jean Pâques, 4 – 1348 Louvain-la-Neuve

Tous droits réservés pour tous pays.
Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

Imprimé en *Lettonie*

Dépôt légal:
Bibliothèque nationale, Paris: janvier 2015
Bibliothèque royale de Belgique, Bruxelles: 2015/0074/123

ISBN 978-2-8041-7127-8

# *Préface*

L'anthropologie médico-légale est de plus en plus populaire, grâce à d'éminents spécialistes démontrant le rôle de cette discipline dans la manifestation de la vérité et l'aide à la Justice, souvent avec des cas très complexes ; mais également du fait de séries télévisées qui montrent des experts en anthropologie qui se déplacent sur la scène de crime, que l'on rencontre autour des tables d'autopsies, dans des pièces de préparation des ossements, regardant dans des microscopes, ou reconstruisant des visages à partir de crânes.

L'anthropologie médico-légale est une discipline d'importance majeure, pour collecter des squelettes, ossements, ou restes humains, pour les identifier, estimer l'intervalle *post mortem*, et analyser correctement les traumatismes ; dans certains pays, l'anthropologie médico-légale est utilisée pour l'identification des visages de sujets vivants.

Il s'agit d'une discipline qui se situe à l'interface de la médecine légale et de l'anthropologie physique, puisqu'elle s'intéresse à l'ostéologie humaine (domaine le plus classique de l'anthropologie), mais également utilise certaines procédures diagnostiques qui ne peuvent être réalisées que par un médecin légiste. Cette interface délicate a été à l'origine de discussions sur la place de l'anthropologue médico-légal, particulièrement du fait des implications de l'anthropologie médico-légale devant une Cour d'Assises. Dans de nombreux pays, il existe une séparation forte, ou au minimum un manque de communication entre les médecins légistes et les anthropologues. Dans certains pays d'Europe, cependant, comme la France, les médecins légistes ont commencé à travailler en association étroite avec les anthropologues, ou se sont eux-mêmes formés à l'anthropologie médico-légale, et effectuent de la recherche dans le domaine ostéologique, prouvant que les deux disciplines ont commencé à dialoguer et travailler ensemble.

Ce livre provient de cette double culture. Son auteur, le Professeur Gérald Quatrehomme, réunit les deux mondes, en tant que médecin légiste, et scientifique, anthropologue médico-légal. Ceci est évident, non seulement à partir de ses thèmes de recherche et du grand nombre d'observations anthropologiques médico-légales qu'il a traitées, mais également de son meeting qu'il organise chaque année à Nice (l'année 2014 en était la 14$^{e}$ édition), et qui est toujours un grand succès (les « Congrès d'Anthropologie médico-légale »), permettant des rencontres entre médecins légistes, anthropologues, odontologistes, biologistes, scientifiques, et magistrats, et des débats fructueux sur des thèmes d'anthropologie médico-légale.

Avec un tel environnement, ce livre est une présentation précise et compétente des outils anthropologiques applicables par des experts dans des cas judiciaires. Il couvre en détail les questions les plus techniques et les plus modernes. La première partie fait le point sur les aspects généraux de la mort, du tissu osseux, des investigations sur la scène de crime, et de l'autopsie. La deuxième partie s'intéresse à l'identification, où l'anthropologie est d'importance primordiale. L'auteur a judicieusement traité plusieurs chapitres sur les étapes et les difficultés d'établir le « profil biologique » (par exemple sexe, âge, origine géographique). Cet aspect est de plus en plus important en anthropologie médico-légale, compte tenu des demandes judiciaires d'identification, de plus en plus fréquentes, en rapport avec les crimes organisés et les crimes de guerre. De plus, les situations géopolitiques sont en plein bouleversement et des restes non identifiés de migrants qui traversent nos frontières nécessitent d'établir ce profil biologique avant de procéder à une identification positive quand cela est possible. Dans de nombreuses situations, les comparaisons ADN ou dentaires ne sont pas disponibles et les experts doivent avoir recours à la morphologie squelettique pour aider à l'identification.

Une partie fondamentale et nouvelle a été ajoutée, concernant des disciplines liées à l'anthropologie médico-légale, comme la botanique et l'entomologie. En fait, fréquemment, des éléments naturels qui entourent l'os peuvent donner plus d'information sur le délai *post mortem* et divers évènements environnementaux, que l'os lui-même. Il convient de connaître les outils culturels et scientifiques qui permettent de préserver ces importants éléments et d'en extraire le maximum d'informations. L'expert qui travaille sur des os médico-légaux doit être averti de leur potentiel, en révélant, par des analyses microscopiques, chimiques, ou toxicologiques, la cause ou au moins certaines circonstances de la mort. Ces éléments de preuves potentielles doivent être correctement préservés.

Enfin, la dernière partie analyse en détail les traumatismes osseux : un sujet totalement en relation avec la médecine légale thanatologique, dont le Professeur Gérald Quatrehomme est un expert.

Un tel livre était très attendu, pas seulement en France, et deviendra certainement une référence indispensable pour les étudiants comme pour les experts.

**Cristina Cattaneo**
*Professor of Legal Medicine and Anthropology*
*LABANOF – Laboratorio di Antropologia e Odontologia Forense*
*Sezione di Medicina Legale*
*Università degli Studi di Milano*
*Milano (Italia)*

# *Notes de l'auteur*

En 1997, après un séjour d'une année dans le laboratoire d'anthropologie du Professeur M. Yaşar İşcan, à Boca Raton (Floride), et après avoir fréquenté trois fois par semaine environ l'Institut médico-légal de Miami (le Directeur du « Medical Examiner Office » de l'époque, Joe H. Davis, m'y avait gentiment accepté sans restriction, aussi bien dans les salles d'autopsies que dans l'immense collection anthropologique médico-légale que je fréquentais avec assiduité) (Quatrehomme et Davis 1998a,b), l'anthropologie médico-légale m'était apparue pleine d'avenir.

L'évolution de cette discipline m'a démontré son importance. Le nombre de publications dans ce domaine s'est accru considérablement au cours des dix dernières années. Nous utilisons maintenant l'anthropologie médico-légale, certes sur des restes à l'état de squelette, ou sur des corps altérés par un quelconque processus (décomposition, momification, adipocire, immersion, carbonisation, mutilation, démembrement, prédation animale), mais de plus en plus également sur des prélèvements osseux que nous réalisons lors de l'autopsie de corps frais. Ces analyses anthropologiques complémentaires de l'autopsie précisent le mécanisme lésionnel et sont souvent d'un intérêt considérable en Cour d'Assises.

Cet ouvrage n'est pas seulement destiné aux médecins légistes et anthropologues, mais également aux médecins non spécialisés en médecine légale, aux radiologues, odontologistes, biologistes, et aux étudiants de ces différentes disciplines. La médecine légale est à l'intersection du médical, du juridique et de la Société. L'ouvrage a donc également été écrit pour les spécialistes du droit (magistrats et avocats), qui y trouveront des notions qui leur sont destinées. Bien entendu les policiers et gendarmes, Officiers de Police judiciaire, Techniciens de l'Identité Judiciaire et de l'Identification Criminelle, Techniciens subaquatiques, y trouveront des éléments utiles voire indispensables. Le médecin légiste travaille constamment en interface avec les magistrats, les policiers et gendarmes. Cette collaboration est indispensable à la manifestation de la vérité. Les échanges entre ces différentes professions sont extrêmement féconds.

L'ouvrage a été construit comme un rapport d'expertise anthropologique médico-légale, avec deux grandes parties (anthropologie d'identification et anthropologie lésionnelle), et la réponse aux questions qui intéressent le magistrat et l'enquêteur, dans un ordre précis et logique. Ainsi l'identification a été segmentée en identification reconstructive, comparative et spécialisée ; et l'anthropologie lésionnelle s'est intéressée dans un premier temps au caractère *ante*, *péri* ou *post mortem* de la lésion, avant de détailler les lésions élémentaires, puis les lésions complexes.

Cet ouvrage a été conçu non seulement pour donner au lecteur des notions pratiques immédiatement utilisables sur le terrain, mais également dans le but que chacun puisse se poser des questions utiles, ce qui permettra d'ouvrir des voies de réflexion voire de recherche.

L'histoire de l'anthropologie médico-légale est très variable d'un pays à l'autre. Nous avons conservé un certain nombre de références anciennes, car elles jalonnent cette discipline et démontrent l'évolution de la pensée anthropologique médico-légale. La médecine légale a beaucoup évolué en France et dans

le monde ; l'anthropologie médico-légale est appelée à un développement considérable. Nous espérons y avoir apporté notre modeste contribution, ceci en toute humilité, car, de cet ouvrage, nous mesurons essentiellement ses imperfections.

**Quatrehomme G**, Davis JH (1998a) Le Département de Médecine Légale de Miami (Metropolitan Dade County, Florida, USA) : une conception exemplaire du fonctionnement de la Médecine Légale. (Première partie : organisation). *J Méd Lég Droit Méd*, 41 (6) 411- 418.

**Quatrehomme G**, Davis JH (1998b) Le Département de Médecine Légale de Miami (Metropolitan Dade County, Florida, USA) : une conception exemplaire du fonctionnement de la Médecine Légale. (Deuxième partie : fonctionnement, commentaires et réflexions) *J Méd Lég Droit Méd*, 41 (7-8) 519-526.

# *Abréviations*

- CP : code pénal
- CPP : code de procédure pénale
- CC : code civil
- CSP : code de la santé publique
- CD : code de déontologie médicale
- ITT : incapacité totale de travail au sens du code pénal
- MEB : Microscope Électronique à Balayage
- UV : ultra-violets
- Anc. : anciennement (note de bas de page)
- Angl. : anglais (note de bas de page)
- *vs* : *versus*
- Contexte odontologique : $I_1$ et $I_2$ : incisive centrale et incisive latérale ; C : canine ; PM1 et PM2 : 1re et 2e prémolaires ; M1, M2, M3 : 1re, 2e et 3e molaires

# Remerciements

Écrire la partie « Remerciements » d'un ouvrage est un exercice redoutable, puisqu'il est à peu près certain que nous omettrons un ou plusieurs acteurs, et nous n'aurons ensuite que des regrets de les avoir oubliés.

En premier lieu je remercie la maison d'édition De Boeck, et les interlocuteurs directs (Fabrice Chrétien et Florence Lemoine), qui ont accepté avec enthousiasme de participer à l'édition de cet ouvrage. Avec une pensée pour le « metteur en pages » qui a souffert avec l'insertion des nombreux tableaux et figures.

Tous mes remerciements également à Benjamin Maes, qui a patiemment réalisé les schémas de ce travail, et les a modifiés chaque fois que je le lui demandais.

Ensuite quelques personnes m'ont donné très amicalement des avis précieux sur des questions spécialisées (par ordre alphabétique, Gérard Alicci, Damien Ambrosetti, Patrice Baqué, Jean-Pol Beauthier, André Bongain, Cristina Cattaneo, Giovanni Civardi, Christian Dageville, Gilles Grévin, Philippe Lefèvre, Laurence Lupi-Pégurier, Jean-François Michiels, Jacques Millet, Philippe Paquis, Fernand de Peretti, Charles Raffaeli). Ce sont tous des spécialistes très pointus dans leur domaine, mais également des amis. Qu'ils soient sincèrement remerciés de leurs conseils éclairés.

Je remercie très chaleureusement Cristina Cattaneo, médecin légiste et anthropologue médico-légal à Milan (Italie), qui a préfacé ce livre. Nous partageons une passion pour la médecine légale et l'anthropologie médico-légale. Cristina Cattaneo forme une équipe de très haut niveau à Milan, avec un secteur de recherche très actif, comme en témoignent ses nombreuses publications. Nous partageons une certaine vision européenne de l'anthropologie médico-légale, et surtout une très solide amitié depuis de nombreuses années.

Mes remerciements vont de façon très spécifique à deux très grands amis de longue date, dont l'activité dans le domaine de la médecine légale, de l'anatomie et de l'anthropologie, est considérable et impressionnante. Combien d'ouvrages déjà publiés, et combien d'ouvrages à venir ? Et quels ouvrages ! Je les remercie très chaleureusement, car ils m'ont apporté une correction indispensable et très précise de la première partie de ce livre (les aspects généraux et l'identification reconstructive), et notamment de l'anatomie et de sa nomenclature, avec une très grande patience (ayant modifié certains chapitres après leurs corrections, d'éventuelles erreurs me sont totalement imputables). Je connais leur emploi du temps et j'apprécie énormément leur participation et le temps qu'ils m'ont consacré. Notre amitié ne s'est jamais démentie depuis de très nombreuses années. Cette amitié sort encore renforcée avec cet ouvrage. Vous aurez reconnu mes deux amis belges, Jean-Pol Beauthier et Philippe Lefèvre.

Bien entendu, aucune des lignes écrites dans cet ouvrage, qui parle de la diversité biologique, et notamment concernant l'origine géographique ou l'aspect phénotypique, ne peut avoir une quelconque connotation de racisme, de quelque nature qu'il soit, de discrimination, ou de toute mention équivalente. Il faut bien souligner ce préliminaire pour être parfaitement à l'aise dans les réponses aux questions posées par les missions judiciaires médico-légales.

Car la diversité est la richesse de l'humanité.

Pour conclure, mes remerciements s'adressent à l'être humain sur le vaisseau Terre, dans sa diversité, sa variabilité, ses intuitions géniales, ses excès, ses certitudes, ses incertitudes.

# *Dédicaces*

C'est bien évidemment à mon épouse Anne-Marie que je dédie cet ouvrage. La médecine et la science débordent en permanence sur la vie familiale, notamment en soirée, en week-end, et en congés ! Anne-Marie connaît mon addiction à la médecine légale, à l'anthropologie médico-légale, à la recherche et à l'écriture. Sans sa patience, sa bienveillance, et son soutien permanent, cet ouvrage n'aurait pu voir le jour.

À mes enfants, Auréline et Maxence, les deux plus belles réussites de ma vie.

—

À ma maman, qui a un cœur si généreux.
À mon papa, parti trop tôt, à qui je pense souvent.
À ma sœur, pour qui je serai toujours son petit frère.

—

À ma famille, à ceux qui ne sont plus là.
À ceux qui ont disparu si tôt, Christophe et Alain.

—

À toutes les victimes innocentes, à leur souffrance, à leur famille. La médecine légale s'adresse toujours à elles et tente de leur redonner une dignité.

—

À mes amis bronthésards. Ils se reconnaîtront.

—

À Mozart, l'ami de Dieu
À Einstein, le physicien génial
Concerto pour piano n° 21, 2e mouvement ; $E = mc^2$
Mais comment ont-ils fait ?

# *Réflexions dans mes abîmes et dans mes abysses*

Il est des morts qu'il faut qu'on tue (Fernand Desnoyers).

La maladie se soigne. Le mal se combat. La malédiction s'anéantit.

### *Genèse 1.1. Au commencement, Dieu créa les cieux et la terre.*

Au commencement il n'y avait rien : la solitude, le néant, le zéro. Puis le zéro manifesta sa puissance et enfanta le un. La puissance gagna son combat contre la factorielle[1]. C'est ainsi que naquit l'Univers. L'Univers n'est pas physique, il est mathématique. L'Univers observable est totalement expliqué par le zéro et le un : l'Univers est informatique.

Mais le zéro et le un n'expliquent rien.

### *Genèse 1.2. La terre était informe et vide : il y avait des ténèbres à la surface de l'abîme …*

L'Univers est né de la singularité.

La fluctuation quantique explique tout. Tout a été créé à partir de rien. La fluctuation quantique suggère la fluctuation de l'Univers. Après le Big Bang et la phase d'expansion, actuellement en accélération, l'Univers entrera en contraction jusqu'au Big Crunch. Et tout recommencera avec la singularité.

Mais la fluctuation quantique n'explique rien.

### *Genèse 1.3. Dieu dit : Que la lumière soit ! Et la lumière fut … ce fut le premier jour.*

La lumière est apparue 380 000 ans après le Big Bang. Mais le temps n'existe pas. Ceci est suggéré par les superpositions d'états et par l'intrication quantique des particules. C'est la raison pour laquelle il nous est actuellement impossible d'unifier la relativité et la mécanique quantique.

—

L'entropie et l'instabilité du champ de Higgs sont les véritables angoisses métaphysiques de l'être humain. En tout cas ce sont les miennes.

[1] Par convention, $0^0 = 1$ ; et $0! = 1$

# Aspects généraux

## 1.1. Introduction générale

### 1.1.1. Anthropologie médico-légale

#### A) Définitions

Etymologiquement, l'anthropologie est le discours sur l'homme (*anthropos* et *logos)*. Habituellement on distingue, d'une part l'anthropologie culturelle, et d'autre part l'anthropologie biologique. L'anthropologie biologique, ou anthropobiologie, née au 19e siècle, s'intéresse à la diversité humaine actuelle (variabilité et adaptation à l'environnement), ou passée (histoire évolutive). Elle se situe à l'interface de la biologie et des sciences humaines. Elle utilise toutes les techniques scientifiques en provenance d'autres disciplines. Elle possède de nombreuses branches, par exemple la génétique des populations, la paléoanthropologie (étude des populations du passé à l'aide de fossiles), **l'anthropologie médico-légale** (Bauduer 2013). Cette liste est loin d'être exhaustive (Tableau 1.1).

L'anthropologie biologique s'intéresse aux techniques biologiques exercées sur l'os (par exemple

**Tableau 1.1 : Quelques exemples de branches de l'anthropologie**

| Disciplines | | | Contenu |
|---|---|---|---|
| **Anthropologie dite culturelle** | | | |
| Anthropologie sociale | | | Étude de la vie en société ; hiérarchies sociales ; coutumes, rites ; langues |
| Anthropologie historique | | | Formes sociales en relation avec l'histoire de la population étudiée |
| Anthropologie religieuse | | | Rites, mythes ; expressions sociales des religions |
| Anthropologie politique | | | Formes d'autorité, de pouvoir ; formations politiques |
| Anthropologie économique | | | Méthodes de production ; répartition des biens |
| Anthropologie écologique | | | Relation des êtres vivants entre eux et avec leur milieu |
| **Anthropologie démographique** | | | Étude quantitative des populations humaines, leur évolution et leurs mouvements |
| **Anthropologie dite biologique** | | | |
| ***Anthropologie physique*** | | | Étude des squelettes, os et fragments osseux, par l'observation, les mesures et divers examens complémentaires |
| *Paléo-anthropologie* | *Anthropologie physique historique* | *Anthropologie médico-légale* | |
| ***Anthropologie moléculaire (ADN)*** | | | Identification médico-légale ; étude de certains phénotypes ; parenté entre populations, migration des populations, mutations (horloge moléculaire) |

*d'après Quatrehomme (2014) ; modifié*

l'ADN, dite également anthropologie moléculaire) et ce qui entoure l'os. L'anthropologie physique, branche de l'anthropologie biologique, s'intéresse aux ossements et aux indices entourant les ossements. L'anthropologie médico-légale est de l'anthropologie physique, utilisée dans un contexte médico-légal. L'anthropologie médico-légale s'intéresse à la victime, mais également à l'environnement du squelette ou de l'os, d'importance primordiale, et aux techniques scientifiques concernant cet environnement. L'anthropologie médico-légale concerne un seul individu, contrairement à l'anthropologie paléontologique qui tente de comprendre (habituellement) plutôt une population qu'un individu isolément[1]. L'anthropologie médico-légale concerne des restes ou squelettes récents (quelques décennies maximum), voire même un corps frais, alors que la paléontologie s'intéresse à la préhistoire et l'anthropologie physique historique à l'histoire. La limite dans le temps de l'anthropologie médico-légale est à la fois définie par la législation (la prescription pénale pour les crimes est habituellement de 10 années en France, en ajoutant les années de minorité, et en décomptant à partir du dernier acte juridique), et par les considérations éthiques (identification des disparus). Il est donc difficile de donner une limite précise pour l'intervalle qui peut intéresser la médecine légale, mais un intervalle de temps de quelques décennies (20 à 30 ans par exemple) est probablement le maximum (50 ans dans des circonstances exceptionnelles).

L'anthropologie médico-légale est composée de deux termes qui la délimitent assez bien : (a) **l'anthropologie**, en l'occurrence anthropologie physique, qui fait référence à l'identification classique par des techniques osseuses (notamment les « quatre fondamentaux », sexe, âge, stature, et origine géographique ; auxquels on ajoutera les particularités physiologiques comme la parturition, le côté dominant ; les particularités pathologiques ; les particularités professionnelles, voire culturelles ou cultuelles, et les particularités diverses) ; (b) et médico-légal. La **médecine légale** tente d'élucider les causes et circonstances du décès, et de mettre en évidence ou d'éliminer l'intervention d'un tiers responsable, éventuellement mais pas seulement dans le cadre d'un crime. Il est à souligner que la cause du décès n'est qu'un des aspects de l'analyse médico-légale parmi beaucoup d'autres. Aux Assises, les débats concernent souvent assez peu la cause du décès, mais beaucoup plus les circonstances ayant entouré le décès. C'est la raison pour laquelle l'imagerie médico-légale, qui apporte des éléments très utiles au médecin légiste, ne pourra jamais remplacer l'autopsie médico-légale ou l'anthropologie médico-légale, car l'imagerie ne répond habituellement qu'à la question de la cause du décès, et y répond souvent de façon partielle.

Les techniques anthropologiques médico-légales sont utilisées : (a) sur des **corps squelettisés** (squelettes entiers ou partiels, parfois des os isolés ou des fragments) ; (b) sur des **corps altérés** par un processus *péri* ou *post mortem*, décomposés, carbonisés, immergés, mutilés ; et (c) de plus en plus sur des **corps récents voire frais**, pour faciliter l'identification ou apprécier de façon plus précise les lésions traumatiques. L'utilisation de techniques anthropologiques médico-légales sur un corps frais est relativement récente en France : on prélève une ou plusieurs pièces osseuses au cours de l'autopsie d'un corps frais, puis on prépare les pièces osseuses anthropologiquement, habituellement pour comprendre ou affiner un mécanisme lésionnel, donc éclairer les circonstances du décès. Cette procédure pose un problème juridique pratique : la pièce osseuse doit-elle être scellée ou non, s'agit-il d'un prolongement immédiat de l'autopsie, qui ne justifie pas la mise sous scellés ? En effet, la mise sous scellés est beaucoup plus lourde, puisqu'elle nécessite la désignation secondaire d'un expert, alors que l'objectif pour le médecin légiste est simplement d'étudier de façon adéquate des lésions osseuses dans le prolongement de l'autopsie. L'autre difficulté est que la préparation anthropologique nécessite quelques jours, et habituellement le corps est rendu à la famille avant que l'examen anthropologique ne soit terminé. Que faire de la pièce osseuse non scellée initialement ? On peut suggérer d'y apposer des scellés personnels afin de permettre une deuxième expertise ultérieure si nécessaire.

L'étude des lésions osseuses en anthropologie médico-légale est donc d'importance primordiale (Brothwell 1981). Nous appelons ce champ d'activité ou de recherche « anthropologie lésionnelle ». Pour permettre l'analyse des lésions, on distingue schématiquement l'os avec parties molles ou muscles présents, l'os sans les parties molles et en particulier sans les muscles, mais encore vert, conservant donc ses propriétés d'hydratation et d'élasticité, comme chez le vivant, et enfin l'os sec, qui a perdu ses caractéristiques intrinsèques d'hydratation et d'élasticité. Ces différences sont importantes car, d'une part l'os vert ne réagit pas comme l'os sec, notamment par rapport aux traumatismes qui lui sont appliqués, et d'autre part cette distinction peut faciliter la compréhension des circonstances du décès dans certaines affaires.

[1] Bien entendu cette vision générale d'étude et de compréhension d'une population à un moment donné passe éventuellement par l'étude de quelques os ou fragments, fossiles par exemple

La démarche anthropologique médico-légale est strictement la même qu'en thanatologie classique : examen des restes en place et de leur environnement matériel et psychologique (« levée de squelette »), autopsie des restes si elle est encore possible, prélèvements indispensables avant toute préparation osseuse. Les ossements sont étudiés propres et secs, après préparation adéquate. Tous les os sont importants, y compris les plus petits comme les phalanges ou les fragments de côtes par exemple.

Les questions à résoudre sont multiples et sont résumées dans le Tableau 1.2. Il existe toujours deux grandes parties dans le rapport d'expertise anthropologique : une partie « Anthropologie d'identification », qui sera reconstructive, comparative et éventuellement spécialisée ; et une partie « Anthropologie lésionnelle », qui observe les lésions osseuses et traite des causes et circonstances du décès. Finalement la démarche générale est la même qu'en autopsie classique. Cependant la cause du décès est souvent difficile ou impossible à établir avec certitude en anthropologie médico-légale, sauf circonstance particulière. On doit souvent émettre des hypothèses avec une probabilité associée plus ou moins élevée. Enfin, on soulignera que l'interprétation médico-légale sur les causes et circonstances ayant entouré le décès, ne peut être effectuée que dans les limites des os ou parties du corps disponibles. Par exemple l'absence de l'os hyoïde ou du cartilage thyroïde (lésions éventuelles de strangulation), très fréquente en anthropologie médico-légale, l'absence d'une partie des côtes ou même de fragments de côtes (lésions éventuelles par instruments tranchants), l'absence des métacarpiens ou phalanges (lésions éventuelles de défense), limitent l'interprétation médico-légale des faits. Même quand les pièces osseuses sont présentes, l'os ne peut pas tout révéler. Par exemple, le fait d'avoir un crâne intact n'élimine pas une hémorragie cérébrale traumatique à l'origine du décès ; le fait d'avoir toutes les côtes intactes n'élimine pas une plaie thoracique par couteau ; un coup de couteau abdominal peut entraîner le décès par hémorragie massive, sans toucher les vertèbres.

### B) « Levée de squelette »

Nous emploierons ce terme un peu audacieux à la place de la levée de corps habituelle, en insistant sur le fait que les précautions lors de la levée de squelette devraient être plus grandes encore, que lors d'une levée de corps traditionnelle. En effet, plus le corps est altéré, et plus les indices deviennent minces ou difficiles à interpréter pour certains d'entre eux.

Le champ de l'anthropologie est certes le squelette, mais l'anthropologie médico-légale intervient également chaque fois que les corps sont altérés par un processus quelconque, *péri* ou *post mortem*, ce qui est particulièrement fréquent dans la pratique médico-légale quotidienne : décomposition classique, adipocire, momification, mutilation, submersion ou immersion, dépeçage, fragmentation, carbonisation etc.

Lors des levées de corps, la vigilance habituelle indispensable doit se renforcer quand le corps est altéré. Certaines erreurs doivent être évitées. Quand un corps est *décomposé* par exemple, une des erreurs les plus communes est l'ouverture des fenêtres par les premiers intervenants, du fait des odeurs. Il convient de s'habiller de façon adaptée pour ne pas contaminer la scène par ses empreintes digitales ou ADN, ou par les fibres vestimentaires (il existe des tenues jetables). Il ne faut pas que le personnel non concerné pénètre et marche dans l'environnement éloigné et rapproché du corps. En Belgique, une loi a mis en place trois zones concentriques, une zone d'exclusion, une zone d'isolation et une zone de dissuasion (Beauthier 2008). La zone d'exclusion concerne le corps et son environnement immédiat ; seuls le médecin légiste et la police technique et scientifique peuvent y pénétrer. La zone d'isolation se situe immédiatement autour de la zone d'exclusion ; seuls les enquêteurs peuvent y pénétrer. La zone de dissuasion est une zone concentrique plus éloignée ; elle est interdite aux passants et curieux. Il est dommage que cette législation n'existe pas en France. Il faudrait également former les premiers secours (pompiers, SAMU) pour éviter de contaminer et modifier la scène quand le décès est évident [1]. Quand un corps est décomposé, la cause du décès est souvent affirmée comme naturelle, sans aucune base médico-scientifique, par les différents acteurs concernés.

Seuls devraient entrer dans la pièce ou sur les lieux les intervenants **accrédités** et **formés.** Tous les acteurs doivent être bien conscients que **la décomposition obscurcit les lésions et leur interprétation,** suggérant donc la plus extrême prudence dans les conclusions, et invitant donc à pratiquer une autopsie systématiquement dans ces circonstances.

Quand un *squelette* est découvert, les os sont souvent collectés sans précaution, et mélangés dans un sac. Il est donc impossible de connaître les connexions anatomiques osseuses lors de la découverte des restes, et les rapports avec des indices environnementaux. Or la levée de squelette doit être réalisée selon des techniques archéologiques, nous y reviendrons. De plus l'absence de précaution lors du conditionnement et du transport peut abîmer certaines parties fondamentales pour l'estimation de l'âge ou du sexe, ou pour l'interprétation médico-légale des lésions osseuses.

[1] Bien entendu, quand une réanimation est envisagée, celle-ci prime sur toute autre considération

**Tableau 1.2 : Principales questions à résoudre en anthropologie médico-légale**

| Questions | Commentaires |
|---|---|
| **Identification médico-légale** | |
| *Identification reconstructive* | |
| Animal et/ou humain ?<br>Non animal et non humain | Environ 30 % des os amenés au laboratoire sont animaux ; il existe souvent un mélange d'os animaux et d'os humains ; les os animaux peuvent avoir un intérêt médico-légal dans certaines affaires |
| Ancienneté des restes ou des ossements | Question souvent délicate ; l'environnement des restes est très important pour aider à estimer leur ancienneté ; prescription pénale : 10 ans en France habituellement |
| Nombre (minimum) de victimes | Habituellement une seule victime en médecine légale ; plusieurs victimes : règlements de compte, assassinats intrafamiliaux, sectes ; nombreuses victimes (contextes particuliers) : charniers, catastrophes de masse |
| Noyau dur de l'identification[1] | Sexe |
| | Âge |
| | Stature |
| | Origine géographique (groupe biologique) |
| Particularités | Physiologiques, pathologiques, professionnelles, culturelles, cultuelles, diverses |
| *Identification comparative (seule l'identification comparative permet une identification absolue ou exclue)* | |
| Comparaisons digitales (empreintes digitales) | Parfois encore possibles quand les corps sont altérés |
| Comparaisons radiologiques | Peu coûteuses et très performantes (par exemple sinus frontal, comparaisons trabéculaires) |
| Comparaisons odontologiques | Peu coûteuses et très performantes ; identifient au moins 70 % des victimes dans les catastrophes de masse ; comparaisons cliniques et/ou radio-odontologiques |
| Comparaisons ADN | Très importantes en pratique médico-légale ; comparaisons possibles avec le FNAEG[2] ; mais coûteuses ; parfois délicates sur des corps décomposés ou squelettisés ; parfois techniquement impossibles |
| Comparaisons diverses | Numéro de prothèse d'ostéosynthèse par exemple ; analyse d'un tatouage particulier par comparaison d'images |
| *Identification spécialisée (reconstructive ou comparative selon les cas) : identification crânio-faciale* | |
| Superposition faciale | Superposition entre le crâne et une ou plusieurs photographies du disparu ; scientifiquement très difficiles |
| Restauration faciale | Parties molles en quantité suffisante sur le crâne ; donne souvent de bons résultats ; publication pour les proches ou dans les médias par photographie, moulage, ou dessin |
| Reconstruction faciale | Parties molles totalement absentes du crâne (ou en quantité insuffisante) ; techniques en deux ou trois dimensions, manuelles ou informatisées ; résultats aléatoires ; validation scientifique insuffisante en terme de ressemblance |
| Comparaisons d'images | Comparaisons bi-dimensionnelles, tri-dimensionnelles, ou entre images 2D et 3D ; scientifiquement très difficiles |
| Vieillissement des visages | Pour les enfants disparus et les crimes imprescriptibles ; validation scientifique insuffisante |
| **Examens complémentaires spécialisés** | |
| Faune | Entomologie médico-légale |
| | Faune marine |
| Flore | Végétaux (botanique médico-légale) |
| | Diatomées |
| | Algues |
| Sols | Géologie médico-légale |
| Microscopie | Ostéons ; anatomo-pathologie |
| Imagerie | Radiologie, tomodensitométrie[3] |

1 « *Big four* » des anglo-saxons
2 FNAEG : Fichier National Automatisé des Empreintes Génétiques
3 La tomodensitométrie est appelée « scanner » dans le langage médical habituel

| Tableau 1.2 : (suite) | |
|---|---|
| **Questions** | **Commentaires** |
| **Anthropologie lésionnelle : cause et circonstances du décès** | |
| Lésions *ante mortem*, *péri mortem* ou *post mortem* | Question fondamentale et préalable à toute tentative d'interprétation lésionnelle |
| Lésions élémentaires | Armes à feu |
| | Instruments tranchants (coupants ou piquants) |
| | Instruments contondants |
| | Instruments tranchants-contondants |
| | Brûlures et carbonisations |
| Lésions complexes | Association variable et variée de lésions élémentaires, représentant la pathologie médico-légale rencontrée en pratique (ex : maltraitance infantile ; homicide puis carbonisation du corps ; dépeçage) |
| Cause et circonstances du décès | Parfois cause évidente ou très probable (lésions par projectile ayant traversé le crâne) ; souvent hypothèses ou impossibilité à les déterminer |

** d'après Quatrehomme (2014) ; modifié*

Si les ossements sont prélevés au cours d'une autopsie, sur un corps décomposé par exemple, il convient de passer au large des os dans les parties molles pour ne pas laisser la trace des instruments autopsiques. Ceci est très important, d'autant plus que, dans la formation du médecin légiste, on apprend au contraire lors de l'autopsie classique à se servir du plan osseux comme un plan de référence, ce qui évite d'abîmer les viscères ou les vaisseaux par des gestes autopsiques malheureux : il faut donc s'adapter aux contraintes anthropologiques quand les prélèvements osseux sont nécessaires.

## C) Mesures à prendre avant la préparation des ossements (phase autopsique)

### 1) Radiographies

Avant toute préparation, des radiographies standard sont habituellement effectuées. Elles sont très importantes, car les restes anthropologiques sont souvent des mélanges de parties décomposées, squelettisées, momifiées ou en adipocire. De plus, l'environnement (terre, branchages, cailloux …) est mélangé en grande partie aux restes. En conséquence, il est très difficile ou impossible d'objectiver par la simple vision directe des indices comme un projectile ou fragment, une dent … Dans la routine habituelle, il est recommandé de pratiquer des radiographies de l'ensemble du linceul avant toute manipulation. Ceci est assez naturel, puisque dans ces circonstances, la prise en charge est celle d'une autopsie classique, avant de passer à la phase anthropologique. Les renseignements obtenus avec les radiographies sont très nombreuses et parfois capitales.

### 2) Photographies

Les photographies médico-légales sont indispensables. Il convient de photographier les scellés, s'il en existe. Ceci atteste qu'ils étaient intacts, mais de plus il existe souvent plusieurs scellés en matière d'anthropologie médico-légale, qui correspondent à des zones différentes de découverte des os. Il faut donc photographier et décrire chaque contenant et chaque contenu. La différenciation des zones de découverte peut avoir une grande importance dans certaines affaires médico-légales.

Par ailleurs, les photographies sont indispensables car la préparation anthropologique est irréversible. Il convient donc de fixer l'état des restes avant toute préparation.

La technique générale de la photographie médico-légale est la même qu'en autopsie : photographie « de loin » pour localiser la lésion, puis photographie « de près » pour préciser les caractères de la lésion, utilisation d'un test centimétrique.

### 3) Préservation

#### Des parties non osseuses (prélèvements)

D'une façon générale, la méthode anthropologique médico-légale doit débuter par la préservation des parties utilisables pour des examens complémentaires, et nous pensons en particulier ici à l'entomologie, la toxicologie, l'anatomo-pathologie, l'ADN. Toute

disposition doit donc être prise pour que cette préservation soit d'emblée effective, par des prélèvements immédiats, et la conservation des prélèvements dans les conditions adéquates, afin de pouvoir effectuer ultérieurement les examens complémentaires dans de bonnes conditions. De nouveau, il est habituel qu'une phase de nature autopsique précède la phase anthropologique proprement dite.

### Des parties osseuses

Il faut prendre garde de préserver les pièces osseuses, donc de les conditionner correctement pour un transport adéquat jusqu'au laboratoire. Ces précautions sont constamment valables, mais encore plus quand il s'agit de carbonisations sévères, car les fragments osseux sont très fragiles dans ces circonstances.

## D) Préparation des ossements (phase anthropologique)

Elle ne se conçoit donc que quand les observations préliminaires, les radiographies, les photographies, les prélèvements ont été réalisés. L'eau chaude est la technique de choix. Elle nécessite une surveillance pour éviter la brûlure des os pendant la préparation. Il faut de l'eau frémissante et non bouillante afin d'éviter que les os ne s'abîment en s'entrechoquant contre les parois du récipient. Il faut régulièrement, après refroidissement, enlever à la main les parties molles, avant de replonger l'os dans un récipient d'eau et le faire chauffer à nouveau. Il faut donc souvent plusieurs jours pour que l'os devienne propre et sec. Le temps nécessaire à la préparation est le principal inconvénient de cette méthode. Dans notre expérience, cette préparation n'a jamais altéré les lésions osseuses, y compris avec des os brûlés. En ce qui concerne l'ADN, il a été démontré que le passage prolongé en eau bouillante diminuait de façon significative la quantité d'ADN extraite à partir des os. Il est donc recommandé, par précaution, de faire le prélèvement ADN avant toute préparation. Lorsque l'on dispose des deux fémurs, le plus simple est de préserver l'un des deux (habituellement le droit, le gauche étant par convention utilisé pour l'étude anthropologique) en le mettant d'emblée au congélateur à –20°C. L'inconvénient est la difficulté d'affirmer l'absence de toute lésion sans préparation anthropologique, mais l'ADN ultérieur est primordial et doit être préservé. Si le fémur n'est pas présent, il faut préserver un des os ayant les corticales les plus épaisses au congélateur.

L'utilisation de produits chimiques (lessive, eau de javel …) est proposée par certains (voir par exemple Mann et Berryman 2012), mais controversée (Fenton et coll. 2003). Nous ne la recommandons pas, car ces produits agressifs peuvent attaquer l'os et le détériorer. De plus, nous avons constaté que l'os préparé avec de la lessive continuait à se détériorer dans le temps, s'effritant parfois sévèrement en quelques mois ou quelques années. Cependant l'eau de javel correctement utilisée ne semble pas détériorer l'os (Mann et Berryman 2012).

L'autre problème est la possibilité subséquente de faire de l'ADN. Il n'y a pas une corrélation absolue entre l'état morphologique macroscopique de l'os et la quantité d'ADN présente. La plupart des auteurs recommande de ne pas utiliser de produits chimiques si de l'ADN est envisagé (Lee et coll. 2010 ; Rennick et coll. 2005 ; Steadman et coll. 2006). Par contre, l'eau de javel correctement utilisée permet d'éliminer la contamination ADN de la surface des os et des dents (Kemp et Smith 2005). Il convient cependant de rincer correctement la pièce osseuse, sinon l'eau de javel continue de pénétrer et d'agir sur l'ADN, comme nous l'avons démontré à Nice (Quincey et coll. 2013). Comme vu ci-dessus, la préparation la plus classique (eau chaude) semble faire chuter significativement la concentration d'ADN que l'on peut extraire, ce qui peut être délétère s'il n'y a déjà plus beaucoup d'ADN dans l'os. Cependant, le facteur le plus important est sans doute la durée de la préparation (nombre d'heures qui ont été nécessaires pour la préparation anthropologique) (Quincey et coll. 2013).

Enfin certains auteurs utilisent des insectes nettoyeurs (Hefti et coll. 1980). Cette technique particulièrement écologique semble donner de bons résultats, mais nous n'en avons pas l'expérience.

## E) Anatomie anthropologique

Les repères standard de description en anatomie sont les suivants : sujet debout, face à l'examinateur, paumes de la main vers l'avant, pieds vers l'avant et parallèles entre eux, regard horizontal (regardant l'horizon). Cette position de référence est utilisée aussi bien en autopsie qu'en anthropologie, pour décrire des directions de coups, des angles de projectiles etc. Pour le crâne, un des plans de référence est le plan de Francfort ; nous y reviendrons. Dans un rapport d'autopsie ou d'anthropologie médico-légale, la **position standard de référence** doit toujours être un préalable dans la description, avant de faire des hypothèses sur une autre position éventuelle de la victime au moment des faits.

Les *plans* anatomiques sont très utiles dans les rapports d'autopsie ou d'anthropologie : (a) le plan sagittal ou sagittal médian, ou plan de symétrie, partage le corps en deux moitiés égales (il passe par

l'axe du corps et définit la droite et la gauche) ; (b) les plans parasagittaux ou paramédians sont parallèles au plan sagittal ; (c) le plan frontal est parallèle au front, perpendiculaire au plan sagittal ; (d) le plan coronal est le plan frontal passant par l'axe du corps, définissant la face ventrale et la face dorsale ; (e) le plan transversal est horizontal (en position standard), donc parallèle au sol, perpendiculaire aux plans sagittal et frontal, et coupe transversalement l'axe du corps. Les coupes anatomiques réalisées dans ce plan sont appelées coupes transversales. Les trois plans fondamentaux (sagittal, coronal, et transversal), sont donc perpendiculaires entre eux. Nous développerons plus loin les plans spécifiques à l'anthropologie du crâne.

Les *axes* sont donc tous décrits sur un sujet en position anatomique, et sont assimilés à des flèches, en respectant les plans correspondants : (a) l'axe du corps ou axe de la gravité, flèche verticale passant par le vertex ; (b) l'axe longitudinal ou vertical du corps, perpendiculaire au sol dans la position anatomique standard ; (c) l'axe transversal ou horizontal, perpendiculaire à l'axe longitudinal, de gauche à droite ; (d) l'axe sagittal, traversant le corps de la face dorsale vers la face ventrale, perpendiculaire aux deux précédents ; (e) l'axe de la main, ligne verticale passant par le 3$^{e}$ doigt ; (f) l'axe du pied, ligne horizontale, passant par le 2$^{e}$ orteil.

Les *directions* dans l'espace sont : (a) crânial ou supérieur : vers le crâne, vers le haut ; (b) : caudal ou inférieur : vers le coccyx, vers le bas ; (e) médial : vers le milieu, vers le dedans, vers le plan sagittal médian ; (f) latéral : vers le dehors, en s'éloignant du milieu, du plan sagittal médian ; (g) médian : au milieu ; (h) profond ou interne : plus loin de la surface du corps ; (i) superficiel ou externe : plus près de la surface du corps ; (j) antérieur ou rostral : vers l'avant ; (k) postérieur : vers l'arrière ; (l) ventral : vers le devant de l'abdomen ; (m) dorsal : vers le dos ; (n) proximal (réservé exclusivement aux membres) : vers la racine du membre ; (o) distal (réservé exclusivement aux membres) : en s'éloignant de la racine du membre.

La description des *mouvements*, également fort utile dans les rapports d'autopsie ou d'anthropologie médico-légale, est la suivante : (a) flexion ; (b) extension ; (c) abduction : en s'éloignant du corps ; (d) adduction : en se rapprochant du corps ; (e) rotation interne ; (f) rotation externe ; (g) circumduction : en décrivant une circonférence. On ajoutera, selon l'articulation concernée : (h) épaule : antépulsion, latéropulsion, rétropulsion ; (i) coude : pronation, supination ; (j) poignet : inclinaison radiale, inclinaison ulnaire ; (k) cheville : éversion, inversion.

L'anatomie anthropologique s'intéresse surtout à l'appareil musculo-squelettique : os, articulations, muscles, tendons, capsules etc. L'anatomie ostéologique en anthropologie est centrée sur certains repères utiles et aux méthodes de latéralisation des os. Les articulations comprennent : (a) les diarthroses ou articulations synoviales, qui permettent les mouvements. Les surfaces articulaires sont recouvertes de cartilage. L'articulation possède une membrane synoviale et une capsule (manchon fibreux) qui renforce la membrane synoviale. Les ligaments latéraux voire centraux (genoux) stabilisent l'articulation. L'articulation est enfermée et protégée dans une cavité close et stérile qui contient le liquide synovial, sécrété par la membrane synoviale. Certaines articulations possèdent en plus des fibrocartilages entre les surfaces cartilagineuses ; (b) les synarthroses, articulations fibreuses qui n'ont pas de mobilité, et sont dépourvues de cartilage et de membrane synoviale. On y retrouve les sutures crâniennes, les syndesmoses et les gomphoses ; (c) les amphiarthroses, où les surfaces articulaires sont recouvertes de cartilage, séparées sans membrane synoviale, mais réunies par des ligaments. Elles peuvent être différenciées en articulations cartilagineuses primaires ou synchondroses, et articulations cartilagineuses secondaires ou symphyses (par exemple la symphyse pubienne).

## F) Les méthodes anthropologiques générales

D'une façon générale, l'anthropologie médico-légale utilise trois grands types de méthodes cliniques (nous ne parlons pas ici des examens complémentaires) : observation (méthodes qualitatives), cotations (méthodes semi-quantitatives) et mensurations (méthodes quantitatives). L'observation est très importante. Contrairement à une idée assez répandue, les méthodes d'observation sont, comme en médecine clinique, particulièrement pertinentes et scientifiques. Un ou plusieurs traits d'observation peuvent conduire à l'identification du sexe avec une probabilité aussi forte que certaines mesures ou combinaisons. Parfois même un trait isolé donne le sexe avec une quasi-certitude (probabilité très élevée) (Bruzek 2002).

Il est indispensable de connaître pour chaque méthode la probabilité d'estimation correcte. Si on utilise une méthode qualitative, chaque trait a une certaine probabilité d'estimation correcte. La combinaison de plusieurs traits donne souvent de meilleurs résultats, mais il ne faut pas négliger les traits isolés, car d'une part les os à notre disposition peuvent être très parcellaires ou fragmentés, et d'autre part certains caractères isolés donnent des probabilités d'identification du sexe très élevées. Il n'y a pas de mauvaise méthode, chaque méthode peut avoir son utilité ; le seul problème est de connaître sa probabilité dans l'es-

timation recherchée. D'autre part, il est indispensable de connaître la variation intra et inter-observateurs dans une méthode descriptive, ce qui n'est pas souvent le cas dans les méthodes qualitatives publiées, et être conscient des importantes variations inter-populationnelles (Alunni et coll. 2003), dans le temps et dans l'espace.

Les méthodes quantitatives sont très séduisantes et très rassurantes. Elles nécessitent cependant une excellente définition des variables utilisées, et, comme précédemment, une connaissance des variations intra et inter-observateurs. On peut utiliser une seule variable (par exemple le diamètre de la tête fémorale) et la comparer avec la moyenne statistique indiquée dans un échantillon ; cela pose le problème de l'échantillonnage, qui doit être parfaitement défini, car les variations individuelles et inter-populationnelles sont potentiellement importantes. Toutes les méthodes proposées devraient nous donner les moyennes et écarts types pour l'estimation recherchée : rappelons qu'avec deux écarts types, on inclut 95 % de la population, et avec trois écarts types, on inclut 99 % de la population, **à condition que la distribution statistique soit normale** (au sens statistique du terme). Là encore, les publications devraient préciser la distribution de l'échantillon, et regarder si les critères de validation de la méthode statistique utilisée sont corrects. D'une façon générale, les moyennes ont une distribution normale quand les échantillons sont au moins de 30. Si la distribution de l'échantillon échappe à la normalité et si l'échantillon est statistiquement faible (< 30), il faut utiliser certaines méthodes statistiques particulières. Il est également utile de connaître la médiane, le maximum et le minimum retrouvés dans l'échantillon.

Le *coefficient de variation* (CV) est par définition l'écart type divisé par la moyenne et multiplié par 100. Certains auteurs utilisent le CV corrigé, pour de petits échantillons (Sokal et Braumann 1980).

$$\text{CV corrigé} = \text{CV}\ (1 + \text{N}/4)$$

Certaines publications pour l'estimation du sexe utilisent le *point de démarcation* : il s'agit, pour les femmes, de prendre la moyenne des hommes moins 3 écarts types ; et pour les hommes, la moyenne des femmes plus trois écarts types. Les pourcentages d'os se situant au delà du point de démarcation sont alors très faibles.

A partir d'une variable isolée ou de plusieurs variables combinées, appartenant ou non à un même os (toutes les combinaisons sont possibles), on peut calculer (Quatrehomme et coll. 2011) soit une *régression logistique*, soit une *équation discriminante*, cette dernière permettant de fixer un seuil (point discriminant), au-delà duquel le sujet est classé comme masculin (et *vice versa*), ou est classé comme sujet d'origine européenne (*versus* sujet originaire d'Asie ou d'Afrique Noire). À ces équations sont attachés également les pourcentages de sujets correctement classés par la méthode utilisée.

Une autre méthode rencontrée dans la littérature est la méthode des *vecteurs de probabilité*. Par exemple, quelles sont les probabilités pour le cas présenté d'appartenir à telle ou telle classe d'âges : méthode bayésienne de probabilité *a posteriori* (Masset 1971, 1982). Enfin depuis peu, des *analyses en composantes principales* et des *analyses neuronales* (réseaux neuronaux) sont produites dans la littérature anthropologique (Corsini et coll. 2005 ; du Jardin et coll. 2009 ; Quatrehomme et coll. 2011) : il s'agit d'analyses multivariables non linéaires. L'analyse en composante prin-

**Tableau 1.3. Approche Bayésienne : probabilités *a posteriori***

| Formules | Commentaires |
|---|---|
| H1, H2 | Les deux hypothèses en concurrence, celle de l'accusation et celle de la défense |
| E | Observation réalisée, ou élément de preuve |
| P (E \| H1) et P (E \| H2) | Probabilité que l'on fasse l'observation E, si l'une ou l'autre des hypothèses est vraie |
| P (H1 \| E) et P (H2 \| E) | Probabilité des hypothèses H1 et H2 une fois que l'observation E a été faite |
| P (H1) / P (H2) | Il s'agit de la probabilité *a priori* |
| P (H1 \| E) / P (H2 \| E) | Il s'agit de la probabilité *a posteriori* |
| P (E \| H1) / P (E \| H2) = RV | Il s'agit du rapport de vraisemblance, qui indique sous quelle hypothèse l'observation E est la plus vraisemblable |
| P *a posteriori* = RV x P *a priori* (RV = rapport de vraisemblance) | |

** d'après Keyser-Tracqui et Ludes (2005)*

cipale est plutôt descriptive. La méthode des réseaux neuronaux recherche un classificateur entre plusieurs catégories. Le réseau va bénéficier d'une phase d'apprentissage jusqu'à obtenir la meilleure séparation de différents groupes.

Dans les techniques ADN, les calculs de probabilité sont importants, car la fréquence des allèles dans une population donne la probabilité que deux individus aient le même profil. Dans les mélanges d'ADN, on peut utiliser une approche Bayesienne (probabilités *a posteriori*) qui calcule la probabilité de deux hypothèses, celles de l'accusation et de la défense, par exemple dans une affaire de viol (Keyser-Tracqui et Ludes 2005).

La probabilité qui nous intéresse (*a posteriori*) est fortement dépendante de la probabilité *a priori*. Or cette probabilité *a priori* n'est pas connue avec précision, elle est estimée en fonction des éléments de preuve ou de vraisemblance présents initialement. La formulation générale est la suivante (Tableau 1.3).

### G) La médecine basée sur des preuves

La médecine légale en général, et l'anthropologie médico-légale en particulier, n'échappent pas à ce concept. On dit souvent que la médecine n'est pas une science mais un art basé sur des éléments scientifiques solides. L'anthropologie médico-légale est également un art, dans le sens où l'observation, comme en médecine clinique et en médecine légale, et donc l'interprétation, jouent un rôle considérable. Le plus délicat est d'obtenir des données pertinentes, donc de trier ces données parmi de multiples informations qui apparaissent pour chaque observation : ainsi une lésion osseuse a-t-elle une grande importance, où est-elle seulement le fruit de l'évolution taphonomique normale ? s'agit-il d'une lésion *péri mortem*, ou d'une lésion *post mortem* due à l'intervention animale ? La même donnée va donc conduire à une interprétation fort différente, qui, dans certains cas peut totalement modifier la coloration d'un dossier médico-légal (homicide *versus* suicide, accident ou mort naturelle). L'expérience dans le domaine de l'anthropologie médico-légale est primordiale, comme en médecine légale traditionnelle ; les connaissances théoriques sont indispensables mais insuffisantes.

Les résultats avancés et leur interprétation doivent donc s'appuyer sur des connaissances scientifiques solides. Aux États-Unis et au Canada, les techniques utilisées par les experts doivent obéir à des critères scientifiques pour être acceptées par la Cour. Ainsi, si on prend l'exemple de l'identification du sexe, de nombreux caractères descriptifs sont possibles pour déterminer le sexe à partir du crâne par exemple, mais il est souvent difficile de connaître la validité en terme de variation intra et inter-observateur, et en pourcentage de crânes correctement classés pour le sexe, pour chaque caractère pris isolément, et pour la combinaison de certains caractères entre eux. En matière de détermination du sexe, il convient de retenir au maximum une erreur intra et inter-observateur de 10 % (donc ≤ 10 %), et une exactitude de la prédiction (pourcentage de crânes correctement classés pour le sexe) supérieure ou égale à 80 % (donc ≥ 80 %). Ces critères sont essentiellement issus du pragmatisme et du bon sens. En effet, une variation intra et inter-observateur paraît intuitivement peu acceptable si elle dépasse quelques pour cent : une variation de 10 % pour un critère qualitatif semble donc une limite acceptable et acceptée par la majorité des médecins légistes et anthropologues (Molto 1979 ; Nichol et Turner 1986 ; Novotný et coll. 1993 ; Rogers et Saunders 1994). De la même façon, une méthode de détermination du sexe doit s'éloigner le plus possible de 50 % (chiffre obtenu par simple tirage au sort !). Mais malheureusement, approcher les 100 % est un idéal impossible à atteindre du fait des variations biologiques inter-groupes, intra-groupes et individuelles. Atteindre au moins 80 % de résultats corrects semble raisonnable, et c'est le pourcentage habituellement atteint au minimum par différentes méthodes de détermination du sexe, tout en rappelant que certaines méthodes se situent vers 90-95 % de classification correcte. Mais on se rend compte immédiatement, en inversant ce pourcentage, que dans des cas médico-légaux réels l'on se trompera de sexe une à deux fois sur 10 ! : en médecine légale, cette situation est très inconfortable. La seule solution est donc d'utiliser les méthodes les plus adéquates pour le cas présenté, en fonction des os disponibles, compte tenu de l'absence de certains os, et du fait que certaines parties osseuses sont abîmées, donc inutilisables, voire absentes, d'utiliser plusieurs méthodes, et surtout de répondre en termes de probabilité, compte tenu des données actuelles de la science. Il est très important de connaître les erreurs attachées à une méthode, et leur pouvoir prédictif, quand on dépose devant une Cour d'Assises.

Il convient d'utiliser la ou les méthodes donnant les meilleurs résultats pour le cas présenté. Aux États-Unis ou au Canada, la déposition de l'expert n'est pas retenue si la reproductibilité intra ou inter-observateur n'est pas connue pour la méthode utilisée, de même que le pouvoir prédictif (Rogers et Allard 2004 ; Christensen 2004).

## 1.1.2. Historique

### A) Historique général

L'anthropobiologie est née au 19e siècle. La France a joué un rôle important dans le développement de cette discipline avec une forte coloration médicale et scientifique (İşcan et Quatrehomme 1999), alors qu'aux USA, l'anthropobiologie avait au départ un développement essentiellement culturel.

L'anthropologie physique s'est avant tout intéressée au crâne (« craniologie »), notamment avec les travaux de Blumenbach, qui était médecin, a développé la craniologie morphologique, l'anatomie comparée, et a évoqué la séparation entre les hommes et les grands singes (Bauduer 2013). A cette époque, l'anthropologie avait une forte coloration raciale voire raciste.

En France, Jean Louis Armand de Quatrefages de Bréau (1810-1892) eut l'originalité de soutenir trois thèses : en physique (sur le thème de la balistique), en médecine (sur un thème urologique) et en histoire naturelle (sur un thème zoologique). Il fut titulaire, en 1855, de la chaire d'anthropologie et d'ethnographie au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. En 1861, il publia un ouvrage sur l'unité de l'espèce humaine, et en 1867, il publia un rapport sur la recherche anthropologique en France.

Paul Broca (1824-1880), neurochirurgien et anthropologue physique français, fonda la Société d'Anthropologie de Paris en 1859, le Laboratoire d'Anthropologie en 1867, et l'école d'anthropologie appelée « Institut de Broca » en 1875. Son influence dans le développement de l'anthropologie physique fut déterminante.

Ales Hrdlička (1869-1943) étudia à l'Institut de Broca en 1896 et fut à l'origine du développement de l'anthropologie physique américaine. Il fut le premier conservateur de l'anthropologie physique à la Smithsonian Institution, puis fonda le célèbre journal scientifique « *The American Journal of Physical Anthropology* » en 1918. Il fut impliqué dans des problèmes médico-légaux variés, notamment les aspects médico-légaux de l'épilepsie ou des maladies mentales, puis progressivement s'intéressa à l'anthropologie médico-légale.

Thomas D. Stewart était médecin et scientifique, il devint Directeur au Smithsonian's National Museum of Natural History. Il est considéré comme le premier véritable anthropologue médico-légal, travaillant régulièrement sur des affaires anthropologiques du FBI[1]. Quand il accepta le poste de Directeur, la responsabilité des affaires médico-légales du FBI revint à J. Lawrence Angel (1915-1986), qui travailla sur plus de 650 cas médico-légaux, essentiellement du FBI, entre 1962 et 1986.

Douglas H. Ubelaker est actuellement conservateur [2] au Smithsonian. Cet anthropologue médico-légal de premier plan et de renommée internationale travaille entre autres comme consultant du FBI depuis 1977 (Ubelaker 2000) et a publié un ouvrage renommé (Ubelaker 1989, 1991) et de nombreux articles dans le domaine de l'anthropologie médico-légale. Il a contribué au développement de l'anthropologie médico-légale aux USA, en Amérique du Sud, mais aussi en France. Il continue à s'intéresser au développement européen de l'anthropologie médico-légale dans le cadre de FASE (*Forensic Anthropology Society of Europe*). FASE fut fondée en 2003, avec comme objectifs essentiels le développement de l'anthropologie médico-légale en Europe, et l'organisation de workshops et symposiums réguliers. FASE est une sous-section de IALM (the *International Academy of Legal Medicine*).

Sur le plan international, deux institutions méritent d'être citées. D'une part l'American Academy of Forensic Sciences (AAFS) qui créa la section d'anthropologie physique (Physical Anthropology Section) en 1972. Et d'autre part l'American Board of Forensic Anthropology, organisé en 1977, et qui délivre des certifications en anthropologie médico-légale.

Du fait de son historique, la particularité de l'anthropologie médico-légale française est qu'elle est exercée, sauf cas très particuliers, par des médecins légistes qui se sont formés aux techniques anthropologiques, et qui sont assez peu nombreux en France. Mais de jeunes médecins légistes s'intéressent maintenant à cette sur-spécialisation de la médecine légale, qui a probablement un bel avenir.

### B) La recommandation européenne nº R (99) 3

La recommandation nº R (99) 3 relative à l'harmonisation des règles en matière d'autopsie médico-légale a été adoptée par le Comité des Ministres aux États Membres le 2 Février 1999, lors de la 658e réunion des Délégués des Ministres, en vertu de l'article 15 b du Statut du Conseil de l'Europe. Une recommandation précédente (n° 1159) avait été adoptée en 1991 lors de sa 43e session ordinaire par l'Assemblée parlementaire du Conseil de l'Europe. Un protocole-type d'autopsie avait été entériné en 1991 par l'Assemblée générale des Nations Unies, et un Guide d'Identification des victimes de catastrophe adopté en 1997 par l'Assemblée générale de l'Organisation internationale de police criminelle (Interpol). La recomman-

[1] FBI : *Federal Bureau of Investigation*

[2] Angl. : *curator*

dation est détaillée dans l'Annexe 12 p. 1693 (Rougé et coll. 2001 ; Quatrehomme et Rougé 2003). Nous rappelons simplement ici les indications de l'autopsie judiciaire, telles qu'elles apparaissent dans la recommandation. Il nous semble que ces recommandations sont raisonnables en matière d'indications autopsiques (Quatrehomme 2001, 2003, 2004), et éviteront de méconnaître des homicides (Brinkmann 1997 ; Leth et Vesterby 1997).

> « *…Les autopsies devraient être réalisées dans tous les cas de mort non naturelle évidente ou suspectée, quel que soit le délai entre l'événement responsable de la mort et la mort elle-même, en particulier dans les cas suivants …* » (Tableau 1.4).

**Tableau 1.4 : Indications des autopsies médico-légales telles qu'elles sont listées dans la recommandation européenne R 99-3**

| |
|---|
| *Tous les cas de mort non naturelle évidente ou suspectée, en particulier :* |
| Homicide ou suspicion d'homicide |
| Mort subite inattendue, y compris la mort subite du nourrisson |
| Violation des droits de l'homme, telle que suspicion de torture ou de toute autre forme de mauvais traitement |
| Suicide ou suspicion de suicide |
| Suspicion de faute médicale |
| Accident de transport, de travail ou domestique |
| Maladie professionnelle |
| Catastrophe naturelle ou technologique |
| Décès en détention ou associé à des actions de police ou militaires |
| Corps non identifié ou restes squelettiques |

## C) La Cour Pénale Internationale (CPI)

L'anthropologie médico-légale a beaucoup progressé depuis la mise en place de la Cour Pénale Internationale (CPI). Il s'agit d'une Juridiction permanente, universelle, fondée sur l'universalité des Droits de l'Homme et le respect des règles de droit. Elle siège à la Haye (Pays Bas). Plus de 100 pays ont ratifié le Statut de Rome et acceptent l'autorité de la CPI. La CPI juge des individus et non des États (le jugement de certaines décisions des États dépend de la Cour Internationale de Justice), pour les crimes les plus graves.

*Historiquement*, bien qu'un projet de juridiction universelle soit né en 1919 pour l'inculpation de Guillaume II, c'est le Tribunal militaire international de Nuremberg en 1945 qui est concrètement à l'origine de la CPI. Par la suite la loi belge a tenté en 1993 de donner une compétence universelle à la justice belge, notamment pour des crimes contre l'humanité, et ceci quelle que soit la nationalité de la victime. Cette loi fut abrogée en 2003 du fait de difficultés diplomatiques insurmontables.

En 1993, les **Tribunaux Pénaux Internationaux** pour l'ex-Yougoslavie (TPIY) et en 1994 pour le Rwanda (TPIR), ont été mis en place par des résolutions du Conseil de Sécurité, siégeant respectivement à la Haye et à Arusha (Tanzanie). Le célèbre Procureur Général, Carla del Ponte, a été nommé en 1999 pour ces deux TPI. En 2003, Carla del Ponte a été renouvelée pour le TPIY, alors que Hassan Bubacar Jallow a été nommé Procureur Général pour le TPIR. Le Procureur Général suivant est belge (Serge Brammertz). Le Tribunal spécial pour la Sierra Leone (TSSL) a été créé le 16 janvier 2002. Le Tribunal spécial des nations unies pour le Liban a été créé après l'assassinat de Rafiq Hariri, le 14 février 2005.

Les difficultés des TPI sont bien connues : procès particulièrement longs, procédure anglo-saxonne de type accusatoire (pas d'instruction avant l'audience), difficultés procédurales (confrontations de systèmes juridiques différents), actes d'accusation dispersés, procès géographiquement éloignés des victimes, coopération internationale défaillante, compétence des TPI circonscrite à la fois dans le temps et dans l'espace, pour ne citer que quelques éléments majeurs.

En 1998, la **Cour Pénale Internationale (CPI)**, première juridiction universelle et permanente, a enfin été instaurée sous l'impulsion de l'ONU. Son statut a été paraphé initialement à Rome par 120 pays le 18 Juillet 1998, puis par d'autres pays par la suite. Le quorum d'États ayant ratifié le statut de Rome a été atteint en 2002. La CPI est entrée en vigueur le 1er Juillet 2002, sous l'autorité du Procureur Luis Moreno Ocampus. La CPI est indépendante du Conseil de Sécurité.

La composition est la suivante : (a) la Présidence (un Président élu par les juges pour un mandat de trois ans renouvelable, et des vice-présidents) ; (b) un Bureau du Procureur indépendant, formé d'un Procureur élu pour 9 ans par l'assemblée des États parties, et de Procureurs adjoints ; le Procureur enquête et rassemble les preuves ; (c) trois chambres composées de 18 juges élus par les États parties, pour une durée de mandat de 9 ans maximum (chambre préliminaire qui regarde la recevabilité des dossiers ; chambre de 1re instance ; chambre d'Appel, permet l'appel des jugements de la chambre préliminaire et de la chambre de 1re instance) ; (d) le greffe.

Plus de 300 personnes travaillent pour la CPI. La *compétence* est restrictive. La CPI : (a) juge les individus (et non les États) ; (b) de façon non rétroactive (ne juge que certains crimes commis après le 1er Juil-

| Tableau 1.5 : Les quatre crimes de la compétence de la CPI | |
|---|---|
| **Dénominations** | **Définitions** |
| Crime de guerre | Infractions graves aux conventions de Genève de 1949 et aux Protocoles de 1977, commises en période de conflit armé (art. 8 du Statut) |
| Crime contre l'humanité | Actes graves commis contre une population civile dans le cadre d'une attaque généralisée ou systématique pour des motifs d'ordre politique, racial, national, ethnique ou religieux (art. 7) |
| Crime de génocide | Forme particulière de crime contre l'humanité, s'en distinguant par l'intention de détruire, en tout ou en partie, un groupe national, ethnique ou religieux, comme tel (art. 6) |
| Crime d'agression | Absence de consensus |

let 2002) ; (c) juge quatre crimes particulièrement graves (Tableau 1.5) ; (d) n'est compétente qu'en cas de défaillance ou de mauvaise volonté des États (principe de complémentarité). On peut souligner que le génocide n'est pas obligatoirement synonyme dans sa définition d'un nombre important de victimes, en contradiction partielle avec celle des historiens. Le crime d'agression n'est pas clairement défini.

La *saisine* se fait par un État partie, par le Conseil de Sécurité, ou par le Procureur. Les sanctions sont l'emprisonnement de 30 ans maximum, voire la perpétuité dans des cas extrêmes ; l'amende ; et la confiscation des *« profits, biens et avoirs tirés directement ou indirectement du crime »*.

### D) La coopération internationale lors des grandes catastrophes

Un autre élément de progression de l'anthropologie médico-légale a été la coopération internationale lors des grandes catastrophes, par exemple le tsunami du 26 décembre 2004, qui a frappé de nombreux pays du sud-est asiatique. En Thaïlande, de très nombreuses victimes ont été dénombrées, aussi bien des populations locales que des touristes occidentaux. Les identifications ont été très difficiles (Beauthier et Lefèvre 2007, 2008 ; Beauthier et coll. 2009) et ont fait appel en particulier aux empreintes digitales chaque fois que possible, à l'odontologie médico-légale, et à l'anthropologie médico-légale.

## 1.1.3. Identification du sujet

### A) Introduction

L'anthropologie médico-légale est située à l'interface de deux disciplines qui semblent au départ assez éloignées. Elle nécessite pourtant de solides connaissances dans ces deux spécialités. Les médecins légistes ont bénéficié des connaissances de l'anthropologie physique, ils utilisent et adaptent des connaissances et des techniques de la paléontologie physique ; mais l'anthropologie médico-légale se nourrit largement de connaissances médico-légales générales, indispensables pour l'interprétation médico-légale d'une lésion, d'un fait, d'une circonstance. L'anthropologie médico-légale est donc par essence multidisciplinaire (Stewart 1979 ; Kerley 1980), et bénéficie des connaissances non seulement issues de l'anthropologie physique classique et de la médecine légale classique, mais également de champs aussi variés que l'entomologie, la botanique, la géologie, la balistique, la toxicologie, la radiologie, l'odontologie, la biologie moléculaire, pour citer les champs d'action les plus représentés en fréquence.

#### 1) *La perte d'identité*

Les circonstances faisant perdre l'identité d'un sujet sont multiples. Elles peuvent concerner un *sujet vivant* : enfant (disparition, fugue, enlèvement) ; vieillard (confusion, détérioration mentale) ; pathologie psychiatrique. Ces pertes d'identité peuvent être volontaires (faux état-civil, fausses cartes d'identité), ou involontaires (pièces d'identité détruites, perdues, volées …). Concernant le *sujet décédé*, les circonstances du décès (morts collectives), la cause de la mort (homicide avec dissimulation), et l'état du cadavre (décomposition, carbonisation, mutilation, submersion, dépeçage …) sont autant de circonstances qui sont susceptibles de faire perdre l'identité du sujet.

#### 2) *Intérêts à rendre cette identité*

L'intérêt *civil* est évident chez un sujet vivant. Chez un sujet décédé, il faut garder à l'esprit qu'il existe des droits attribués à une personne physique (succession, remariage, assurances, etc.). Sur le plan *pénal*, l'identité d'un sujet vivant est indispensable pour contrer et prévenir la criminalité, qui s'appuie beaucoup sur les fausses pièces d'identité. Si le sujet est décédé, la recherche (puis la sanction) du coupable s'avère très délicate tant que le sujet n'a pas été identifié. On dit souvent que tant qu'il n'y a pas de cadavre, il n'y a pas de coupable, mais la même remarque peut pratiquement s'appliquer à un corps non identifié. En effet

l'expérience montre que l'identification de la victime est un point essentiel pour remonter vers le coupable, qui habituellement a un lien avec la victime. Enfin, nous n'insisterons pas sur l'intérêt *moral*, qui est évident : le cher disparu doit être retrouvé ; et **l'identification formelle des corps est un devoir moral pour toutes les sociétés démocratiques**.

### 3) Qualités de l'identification

L'identification peut être *comparative* (chaque fois que l'on peut comparer les éléments *ante mortem* avec un ou plusieurs éléments *post mortem*), ou *reconstructive* (dans tous les autres cas). L'identité doit être classée dans une des quatre catégories suivantes : identité *certaine* (absolue, positive), *probable*, *possible*, ou *exclue* (Quatrehomme et Subsol 2005 ; Quatrehomme et coll. 1999). Quelques situations sont résumées dans le Tableau 1.6. L'identification certaine nécessite une comparaison entre un ou plusieurs éléments *ante mortem* et un ou plusieurs éléments *post mortem*, dont la plus simple est la comparaison par empreintes digitales, largement répandue, et qui doit être tentée chaque fois que possible. En effet, en situation que l'on peut qualifier d'anthropologique (corps décomposé, carbonisé, submergé, momifié, mutilé, adipocire …), il nous est arrivé à plusieurs reprises d'obtenir une identification certaine et rapide par ce moyen simple, évitant des méthodes éventuellement longues et coûteuses.

Les autres éléments de comparaison sont les comparaisons radiologiques, odontologiques (cliniques, et chaque fois que possibles radio-odontologiques), et enfin l'ADN (Meiklejohn et coll. 1999). Ce dernier, à notre avis, ne doit être utilisé qu'en dernier ressort car il est coûteux, pose des problèmes techniques, ne fonctionne pas toujours sur des tissus décomposés ou sur des ossements, pose parfois des problèmes insurmontables (père différent du père biologique) ; une affaire de jumeaux homozygotes paraissant exceptionnelle en médecine légale. Cependant certains pays ou certaines juridictions exigent l'ADN pour l'identification formelle du corps.

En dehors de ces quatre méthodes de comparaison (comparaisons par empreintes digitales, comparaisons odontologiques, radiologiques et génétiques), d'autres méthodes se présentent occasionnellement et sont utilisées au cas par cas : comparaison photographique d'un tatouage (Birngruber et coll. 2011), d'une cicatrice complexe, numéro d'une prothèse etc. Les comparaisons d'oreilles (Hoogstrate et coll. 2001), d'iris, sont également utilisées (habituellement chez le sujet vivant). De la même façon, l'exclusion de l'identité est obtenue par des méthodes de comparaison, et donne donc un renseignement sûr, extrêmement important également.

Toute autre méthode ne peut donner que des identifications probables ou possibles. Il ne faut pas se contenter de méthodes non scientifiques, qui ne sont que des identifications par probabilité (identité probable ou possible). Un exemple fréquent d'identité probable est représenté par la découverte de papiers d'identité dans le vêtement du sujet, ou la découverte du corps dans un véhicule ou dans un appartement. Il est habituel de supposer que l'identité est celle du sujet inscrit sur les papiers d'identité, ou le propriétaire de l'appartement (moins souvent le propriétaire du véhicule). Mais une substitution d'identité est toujours possible, d'autant plus dans les affaires criminelles, puisque le criminel va tout faire pour dissimuler ou retarder l'identification de la victime. En

**Tableau 1.6 : Les quatre possibilités rencontrées dans l'identification médico-légale ***

| Qualité de l'identification | Exemples |
|---|---|
| Identité certaine [a] | Empreintes digitales [b]<br>Comparaisons radiologiques<br>Comparaisons odontologiques<br>Empreintes génétiques<br>Divers |
| Identité probable | Papiers d'identité<br>Tatouage [c]<br>Formule dentaire compatible |
| Identité possible | Cicatrices [c]<br>Antécédents pathologiques |
| Identité exclue | Formule dentaire incompatible<br>Antécédent de fracture incompatible |

** d'après Quatrehomme et coll. (1999), Tableau I ; et Quatrehomme et Subsol (2005), Table 2.1 ; [a] avec certaines réserves selon les circonstances ; [b] méthode simple parfois possible sur des restes ; [c] dans certains cas particuliers une identification positive certaine est possible à partir de ces éléments*

matière d'identification, la France agit de façon particulièrement singulière, puisque non seulement elle n'applique pas toujours les recommandations européennes R99.3 en matière d'identification (Rougé et coll. 2001 ; Quatrehomme et Rougé 2003), pourtant signées par ses représentants au plus haut niveau, mais en plus s'expose à ne pas découvrir un crime, puisque justement la situation d'une substitution d'identité serait celle d'un délit ou d'un crime. D'autres situations d'identification probable sont représentées par exemple par un tatouage banal, une comparaison dentaire probable mais insuffisante. Enfin il existe de nombreuses situations où l'identification n'est que possible, comme une stature compatible, une cicatrice non spécifique, une pathologie compatible.

De nouveau, insistons sur le fait que l'identification se doit, dans une démocratie évoluée, d'être absolue, donc scientifique par comparaison. À ce stade de la réflexion, il est important de souligner qu'il existe de nombreux pièges, qui ne pourront être déjoués que par des médecins légistes compétents et bien formés, aidés par leurs collègues radiologues, odontologistes etc. Un exemple assez caractéristique de ce type de piège est la comparaison odontologique : si le médecin légiste peut faire un débrouillage grossier du problème, les causes d'erreur sont nombreuses pour un non odontologiste clinicien : il est aisé dans certains cas de se tromper de numéro de dent, même en place sur le maxillaire ou la mandibule, du fait de pathologies ou d'anomalies ; les fiches dentaires sont souvent mal tenues, incomplètes, avec des erreurs dont la plus habituelle est une erreur de côté. Seul un excellent expert odontologiste, habitué à la clinique dentaire et aux problèmes posés par l'identification, sera capable de redresser la situation, sinon cela pourrait aboutir à exclure l'individu alors qu'il s'agit bien du disparu (voir « Comparaisons odontologiques » p. 1093).

Une autre singularité est parfois l'utilisation de l'ADN à tout prix, malgré son coût, alors même que d'autres méthodes seraient utilisables dans tel ou tel cas, donnant une identification absolue, rapide, et très peu coûteuse (comparaison radiologique et odontologique par exemple).

Il est habituel de débuter par une identification reconstructive, avant d'avoir une ou plusieurs pistes pour une identification comparative. L'identification reconstructive permet de donner une « silhouette d'identité », « le reflet opaque du sujet disparu » à cette personne inconnue (notamment âge, sexe, stature, groupe biologique, signes particuliers) ; l'identification reconstructive est une étape très importante dans le processus d'identification, puisqu'elle permet de diminuer considérablement les possibilités. Par exemple le fait de donner le sexe avec certitude diminue déjà les possibilités de moitié (avec la réserve qu'il existe une prédominance masculine dans les décès médico-légaux), ce qui est considérable.

### *4) Stratégies d'identification*

Le processus d'identification est donc particulièrement complexe, et ne peut être qu'une stratégie cohérente d'un médecin légiste et personne d'autre, stratégie (Tableau 1.7) adaptée à chaque cas particulier présenté, utilisant d'abord des méthodes simples puis de complexité intermédiaire, et enfin si nécessaire des méthodes spécialisées (par exemple l'anthropologie crânio-faciale : Quatrehomme 2000, 2005 ; Quatrehomme et İşcan 2000 ; Quatrehomme et Subsol 2005 ; Quatrehomme et coll. 1995, 1996, 1997, 1999 ; Taylor 2001), qui peuvent se révéler longues et coûteuses, et donc à n'utiliser qu'en dernier ressort.

**Tableau 1.7 : Stratégies d'identification ***

| Méthodes | Exemples |
|---|---|
| Simples | Description du corps |
| | Description des vêtements |
| | Objets et bijoux |
| | Empreintes digitales [a] |
| | Radiologie corps entier |
| Intermédiaires | Autopsie |
| | Anatomo-pathologie |
| Complexes | Anthropologie |
| | Reconstruction faciale [b] |
| | Biologie moléculaire [c] |

** d'après Quatrehomme (2000) ; [a] méthode comparative à utiliser chaque fois que possible, si nécessaire après restauration des doigts ; [b] méthode très spécialisée ; [c] méthode comparative, devenue incontournable depuis la mise en place du fichier national automatisé des empreintes génétiques*

## B) Circonstances de l'identification

Elles peuvent être *médico-légales*. Avec un corps frais, il peut exister au départ un problème d'identification. Mais en général cette identification sera réalisée en quelques heures à quelques jours, notamment par l'enquête et/ou en diffusant la photographie dans les journaux locaux. L'identification visuelle pose plusieurs types de problèmes, à la fois éthiques (quand le visage est un peu altéré), mais aussi du fait de risques d'erreurs, involontaires ou non, sur l'identité du patient (les modifications *post mortem* mêmes légères sur un corps frais peuvent conduire à des erreurs, faux positifs ou faux négatifs, notamment avec une personne particulièrement impressionnable, évidemment non habituée à ce genre d'exercice ; de

la même façon, le vieillissement, les pathologies dont souffrait le sujet, sont susceptibles de modifier nettement l'apparence de la victime et de conduire à des erreurs). On remarquera d'ailleurs que l'identification visuelle n'a pas été listée dans le Tableau 1.6, car il ne s'agit pas d'une identification scientifique mais d'une identification de témoignage.

Bien entendu les problèmes d'identification se rencontrent surtout avec des corps altérés par un processus *péri* ou *post mortem*: décomposition, adipocire, momification, immersion, carbonisation, mutilation, dépeçage. Dans toutes ces circonstances, le problème de l'identification existe toujours, et le visage du sujet ne peut pas être montré aux proches supposés ni diffusé dans les médias, pour des raisons éthiques. Il existe cependant dans ces circonstances des méthodes de restauration du visage dont nous parlerons dans les techniques spécialisées.

Mais il existe également des circonstances que l'on peut qualifier *d'anthropologiques*, quand le corps est squelettisé. Dans ces cas, l'anthropologie médico-légale travaille avec: (a) des os combinés (squelette entier ou presque, mais qui peuvent être fortement détériorés par des processus *péri* ou *post mortem*), et c'est une situation fréquente en anthropologie médico-légale; (b) un ou quelques os isolés qui sont confiés au médecin légiste; enfin (c) os fragmentés: fragments osseux, dont l'origine animale ou humaine peut être difficile à déterminer morphologiquement.

### C) Identification reconstructive

L'identification reconstructive (İşcan et Kennedy 1989) tente donc de donner «une silhouette plus ou moins opaque» de la personne à identifier, «un reflet un peu flou», «une image en miroir du sujet, mais un miroir déformant». Toutes les questions à résoudre sont importantes. Nous aborderons le problème de façon un peu schématique, mais assez pragmatique dans la réalité du terrain.

Préalablement à l'anthropologie médico-légale, des étapes de description de l'environnement, des restes, des vêtements ou fragments, sont très importantes. Des radiographies, des prélèvements s'avéreront souvent indispensables. L'anthropologie médico-légale comporte un noyau dur de l'identification, représenté par les «quatre fondamentaux» («big four» des anglo-saxons): âge au décès, sexe, stature, origine géographique (ou groupe biologique) (Ubelaker 1989; van Gerven 1972), auxquels il faut ajouter les particularités. Mais, en médecine légale, d'autres problèmes importants sont posés.

Les ***questions préliminaires*** sont donc représentées par l'origine animale et/ou humaine des ossements; l'ancienneté des restes ou des ossements; et le décompte du nombre (minimum) de victimes. Le ***noyau dur de l'identification*** est représenté par l'estimation du sexe, de l'âge au décès, de la stature, et de l'origine géographique. Les ***questions complémentaires*** sont les particularités de tout type (Ruff 1987; Ruff et Hayes 1983a,b) qui peuvent être parfois très importantes également pour l'identification: particularités *physiologiques*; particularités *pathologiques* (maladies ostéo-articulaires, maladies pouvant avoir un retentissement sur l'os ou la dent: pseudarthrose, dents non soignées, état dentaire déplorable: toxicomanie, infection HIV, néoplasies avec chimiothérapie …); particularités *culturelles* (musculature importante, accroupissement, agenouillement, désocialisation); particularités *professionnelles* (carreleur: position agenouillée répétée, susceptible de créer des lésions de type agenouillement; tapissier: le clou du tapissier); particularités *cultuelles* (limage des dents, perforations nasales).

Nous prendrons chaque os pour en étudier l'anatomie, la latéralité, le diagnostic différentiel avec d'autres os, et les critères d'identification. Le sexe est le premier élément à estimer, d'une part car il trie d'emblée la moitié de la population, ce qui est d'un intérêt immédiat considérable pour les enquêteurs, et d'autre part car les méthodes métriques et les méthodes statistiques (régressions logistiques, analyses discriminantes) d'estimation de l'âge et de la stature, et même du groupe biologique, sont habituellement dépendantes du sexe.

### D) Identification comparative

Comme nous l'avons vu plus haut, la comparaison d'éléments *ante* et *post mortem* permet d'obtenir une identification certaine. Les comparaisons sont digitales, radiologiques, odontologiques, et par ADN. Les autres possibilités de comparaisons sont rares (Tableau 1.8). Chacune de ces méthodes comparatives a ses avantages, inconvénients ou impossibilité. Il faut tenter d'avoir une stratégie adaptée, stratégie la plus performante possible selon le cas présenté, et au moindre coût. Il n'est pas licite d'employer des méthodes insuffisamment performantes, pour le cas particulier présenté, mais il n'est pas licite d'utiliser des méthodes coûteuses comme l'ADN, alors que d'autres méthodes de faible coût auraient pu être utilisées.

### E) Identification spécialisée

Un certain nombre de techniques est réalisé par des laboratoires compétents dans ces domaines. Elles sont selon les cas reconstructives ou comparatives. À titre d'exemples: (a) l'étude microscopique des ostéons aide

**Tableau 1.8 : Méthodes d'identification absolue, par comparaison entre un élément *ante mortem* et *post mortem* (identité certaine ou exclue avec certitude) ***

| Type de comparaison | Commentaires |
|---|---|
| Empreintes digitales (ED) | Très aisées, peu coûteuses ; peuvent nécessiter une restauration du doigt ; seules les personnes fichées antérieurement ont une ED répertoriée |
| Empreintes radiologiques (ER) | Aisées (ex : sinus frontal), peu coûteuses ; nécessitent un dossier RX *ante mortem* (dossiers hospitaliers ou familiaux) ; les comparaisons radiologiques dentaires sont particulièrement performantes |
| Empreintes odontologiques (EO) | Nécessitent un odontologiste expérimenté ; utilisent une comparaison clinique et/ou radio-odontologique ; nécessitent une fiche dentaire *ante mortem* (souvent absente et souvent approximative) ; très performantes (> 80 % des identifications dans les catastrophes) |
| Empreintes génétiques (EG) | Coûteuses, méthode de dernière intention ; nécessitent de retrouver une famille (enfant, parent direct ou plus éloigné) ; parfois échec sur des tissus décomposés, ou sur l'os ; posent le problème du père biologique |
| Empreintes variées (EV) | Numéro de pacemaker ; numéro de prothèse de hanche ou autre ; tatouage très particulier (si comparaisons pertinentes avec des photographies *ante mortem*) ; cicatrice très particulière (comparaisons pertinentes avec des photographies *ante mortem*) ; comparaison des oreilles ; comparaison des iris [a] |

** le terme « empreintes » s'entend ici dans le sens de comparaisons entre l'élément recueilli en post mortem, et d'éventuels éléments* ante mortem *; [a] chez le sujet vivant uniquement*

à identifier l'âge au décès ; (b) l'anthropologie faciale ne cesse de se développer (Quatrehomme 2000, 2005 ; Quatrehomme et coll. 1995, 1996, 1997 ; Quatrehomme et Subsol 2005 ; Quatrehomme et İşcan 2000 ; Subsol et Quatrehomme 2005) : restauration faciale, reconstruction faciale, superposition faciale, comparaison d'images, vieillissement de l'âge sur des photographies ou des dessins.

## 1.1.4. Analyse des lésions

Le terme « médico-légal » dans « anthropologie médico-légale » nous amènera à aborder une seconde partie très importante : l'analyse des lésions osseuses, que nous appelons **anthropologie lésionnelle**, et en conséquence la tentative de compréhension des causes et circonstances du décès. Nous aborderons méthodologiquement ce problème en étudiant dans un premier temps les ***lésions ante, péri, et post mortem***. La définition en est assez délicate. Les lésions *ante mortem* sont produites avant la mort, mais le diagnostic peut être impossible si un début de réparation n'est pas visible. Les lésions *post mortem* sont produites après la mort, elles sont très nombreuses et quasi-constantes. Elles sont d'origine climatique, géologique, botanique, animale, mais nous verrons que les lésions … d'origine humaine ne sont pas rares. En dehors de l'origine humaine, on parle souvent « d'évolution taphonomique », synonyme de lésions *post mortem* dues à l'environnement de l'os, y compris par prédation animale. Les lésions *péri mortem* surviennent au moment du décès ou autour du décès, mais nous verrons qu'elles sont difficiles à définir en pratique, car elles sont à géométrie variable dans le temps.

Ensuite nous effectuerons un ***diagnostic lésionnel***. Les *lésions élémentaires* sont au nombre de cinq (lésions par armes à feu, lésions dites par « armes blanches », tranchantes pures, lésions par agents contondants, lésions mixtes tranchantes contondantes, et enfin brûlures et carbonisations). Il est très important de reconnaître les lésions élémentaires, d'en faire l'analyse séméiologique, ce qui permet de préciser le **mécanisme** qui les a produites, temps fondamental de l'analyse anthropologique médico-légale. Les *lésions complexes* ne sont qu'une combinaison variable de lésions élémentaires. Ce sont celles que nous rencontrons dans les pathologies médico-légales. Un certain nombre de pathologies médico-légales spécifiques sera développé.

## 1.1.5. Conclusion

L'anthropologie médico-légale est trop délicate pour être exercée de façon ponctuelle. Elle nécessite une formation hyperspécialisée longue et complexe. La pratique ponctuelle conduit, comme toujours en médecine légale, à des catastrophes. Les conséquences médico-légales de conclusions approximatives, émanant d'un médecin, odontologiste ou anthropologue, inexpérimenté dans le domaine anthropologique médico-légal, peuvent être considérables. Selon Symes et coll. (2008) *« … des interprétations inappropriées voire erronées dans un rapport médico-légal différencient l'anthropologie médico-légale d'il y a 25 ans et aujourd'hui. Le temps de la collection des pièces osseuses* [sur place] *en une heure et à la pelle, d'un profil biologique effectué sur place en 5 mn, et un scénario imaginatif basé sur des preuves obscures et mal interprétées, fait partie de l'histoire … ».* L'approche de l'anthropologie

médico-légale doit être globale, incluant les données d'enquête, la levée de squelette, la collection des pièces sur place, le conditionnement, le transport, les radiographies, les photographies, les prélèvements, la préparation, l'analyse et l'interprétation médico-légale des lésions. L'anthropologie médico-légale a donc gagné ses lettres de noblesse, mais en contrepartie il existe pour le médecin légiste des obligations et des devoirs en termes de formation et de conscience professionnelle. Cette évolution de l'anthropologie médico-légale en France doit s'intégrer dans le cadre de la réforme de la médecine légale (2011), avec notamment un regroupement de la thanatologie (incluant donc l'anthropologie médico-légale) dans des Centres Hospitaliers Universitaires.

## Références


**Alunni-Perret V**, Staccini P, Quatrehomme G (2003) Reexamination of a measurement for sexual determination using the supero-inferior femoral neck diameter in a modern European population. *J Forensic Sci*, 48 (3) 517-20.

**Bauduer F** (2013) *Eléments d'Anthropologie Biologique*. Ellipse, Paris.

**Beauthier JP**, Lefèvre P (2007) Gestion de l'identification des victimes de catastrophes majeures. L'expérience du tsunami du 26 décembre 2004. *Rev Med Brux*, 28, 512-22.

**Beauthier JP**, Lefèvre P (2008) Rôle des médecins légistes, anthropologues et odontologues lors d'activités au sein du team belge d'identification des victimes (Belgian DVI team). Revue de l'organisation de la gestion de ces situations dans le but d'une identification optimale des victimes. *Biom Hum Anthropol*, 26, 45-56.

**Beauthier JP**, Lefèvre P, De Valck E, De Winne J (2009) Mass Disaster Victim Identification : the Tsunami Experience (December 26, 2004). *The Open Forensic Science Journal*, 2, 54-62.

**Birngruber CG,** Ramsthaler F, Mattias K, Verhoff MA (2011) Superimposition of ante- and post-mortem photographs of tattoos as a means of identification - a case report. *Arch Kriminol*, 227 (1-2) 48-54 [en langue allemande].

**Brinkmann** B (1997) Errors in autopsy in Germany. Results of a multicenter study. *Arch Kriminol*, 199 (3-4), 65-74.

**Brothwell DR (**1981) *Digging up Bones* (3d edition). Cornell University Press, Ithaca.

**Bruzek J** (2002) A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *Am J Phys Anthropol*, 117 (2) 157-68.

**Christensen AM** (2004) The impact of Daubert : implications for testimony and research in forensic anthropology (and the use of frontal sinuses in personal identification). *J Forensic Sci,* 49 (3) 1-4.

**Corsini MM**, Schmitt A, Bruzek J (2005) Aging process variability on the human skeleton : artificial network as an appropriate tool for age at death assessment. *Forensic Sci Int*, 148 (2-3) 163-7.

**du Jardin P**, Ponsaillé J, Alunni-Perret V, Quatrehomme G (2009) A comparison between neural network and other metric methods to determine sex from the upper femur in a modern French population. *Forensic Sci Int*, 192 (1-3) 127 e1-e6.

**Fenton TW**, Birkby WH, Cornelison J (2003) A fast and safe non-bleaching method for forensic skeletal preparation. *J Forensic Sci*, 48 (2) 274-6.

**Hefti E**, Trechsel U, Rüfenacht H, Fleisch H (1980) Use of dermestid beetles for cleaning bones. *Calcif Tissue Int*, 31 (1) 45-7.

**Hoogstrate AJ,** Van Den Heuvel H, Huyben E (2001) Ear identification based on surveillance camera images. *Sci Justice*, 41 (3) 167-72.

**İşcan MY**, Kennedy KAR (1989) Reconstruction of life from the skeleton : an introduction. In : *Reconstruction of life from the skeleton.* MY İşcan, KAR Kennedy (eds.). Alan R Liss, Inc, New York, pp. 1-10.

**İşcan MY,** Quatrehomme G (1999) Medicolegal anthropology in France. *Forensic Sci Int*, 100, 17-35.

**Kemp BM**, Smith DG (2005) Use of bleach to eliminate contaminating DNA from the surface of bones and teeth. *Forensic Sci Int*, 154 (1) 53-61.

**Kerley ER** (1980) Forensic anthropology. In : *Forensic Sciences*. WG Eckert (ed.). The C.V. Mosby Company, St Louis, MO, pp. 102-113.

**Keyser-Tracqui C**, Ludes B (2005) Methods for the study of ancient DNA. *Methods Mol Biol*, 297, 253-64

**Lee EJ**, Luedtke JG, Allison JL, Arber CE, Merriwether DA, Steadman DW (2010) The effects of different maceration techniques on nuclear DNA amplification using human bone. *J Forensic Sci*, 55 (4) 1032-8.

**Leth P**, Vesterby A (1997) Homicidal hanging masquerading as suicide. *Forensci Sci Int*, 85 (1) 65-71.

**Mann RW**, Berryman HE (2012) A method for defleshing human remains using household bleach. *J Forensic Sci*, 57 (2) 440-2.

**Masset C** (1971) Erreurs systématiques dans la détermination de l'âge par les sutures crâniennes. *Bull et Mém Soc d'Anthropol de Paris,* 7, 85-105.

**Masset C** (1982) *Estimation de l'âge par les sutures crâniennes*. Ph. D. Thesis, Université de Paris.

**Meiklejohn C**, Waddell B, Trudel I, Michaud D (1999) Identification of a missing person using biomechanical and DNA analysis : a case study. In : Fairgrieve SI (ed.) *Foren-*

*sic Osteological Analysis. A book of case studies*. Charles C Thomas, Springfield, Ill, pp. 60-78.

**Molto JE** (1979) The assessment and meaning of intraobserver error in population studies based on discontinuous cranial traits. *Am J Phys Anthropol*, 5, 333-44.

**Novotný V**, İşcan MY, Loth SR (1993) Morphologic and osteometric assessment of age, sex, and race, from the skull. In : MY İşcan and RP Helmer (eds.). *Forensic Analysis of the Skull*. Wiley-Liss, New York, pp. 71-88.

**Nichol CR**, Turner CG (1986) Intra and interobserver concordance in classifying dental morphology. *Am J Phys Anthropol*, 69, 299-315.

**Quatrehomme G** (2000) *Reconstruction faciale. Aspects anthropologique et médico-légal*. Thèse Sciences, Faculté des Sciences Bordeaux I.

**Quatrehomme G** (2001) Les autopsies médico-légales. *Bulletin Juridique de la Santé Publique*, nº 37, Editions Tissot, 11-13.

**Quatrehomme G** (2003) La mort par pendaison ; la mort par strangulation. *Médecine Légale et Société*, 6 (1) 13-16.

**Quatrehomme G** (2004) Autopsies. In : *Dictionnaire des Sciences Criminelles DALLOZ*, pp. 62-65.

**Quatrehomme G** (2005) Identification : Facial. In : *Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine.* J Paynes-James, R Byard, T Corey, C Henderson (eds.), pp. 28-34.

**Quatrehomme G** (2013) De l'anthropologie physique à l'anthropologie medico-légale. In : Delabarde T, Ludes B. *Manuel Pratique d'Anthropologie medico-légale*. Éditions ESKA.

**Quatrehomme G**, Cotin S, Subsol G, Delingette H, Garidel Y, Grévin G, Fridrich M, Bailet P, Ollier A (1997) A fully three dimensional method for facial reconstruction based on deformable models. *J Forensic Sci*, 42 (4) 647-650.

**Quatrehomme G,** Cotin S, Alunni V, Garidel Y, Grévin G, Bailet P, Ollier A, Ayache N (1999) La superposition, la restauration et la reconstruction faciales : une aide à l'identification médico-légale. *J Méd Lég Droit Méd*, 42 (1) 11-22.

**Quatrehomme G**, Garidel Y, Grévin G, Liao ZG, Bailet P, Ollier A (1995) Method for identifying putrefied corpses by facial casting. *Forensic Sci Int*, 74, 115-124.

**Quatrehomme G**, Garidel Y, Grévin G, Liao ZG, Boublenza A, Ollier A (1996) Facial casting as a method to help identify severely disfigured corpses. *J Forensic Sci,* 41 (3) 518-520.

**Quatrehomme G,** İşcan MY (2000) Computerized facial reconstruction. In : *Encyclopedia of Forensic Sciences*. JA Siegel, PJ Saukko, GC Knupfer (eds.), Academic Press, pp. 773-779.

**Quatrehomme G**, Ponsaillé J, du Jardin Ph, Leccia C, Alunni V (2011) Methodology for estimating endocranial capacity in a modern European population. *Forensic Sci Int*, 206 (1-3) 213 e1-6.

**Quatrehomme G,** Rougé D (2003) La recommandation nº R(99)3 du Comité des Ministres aux États Membres, relative à l'harmonisation des règles en matière d'autopsie médico-légale. *J Méd Lég Droit Méd,* 46 (4-5) 249-260.

**Quatrehomme G,** Subsol G (2005) Classical non computer-assisted craniofacial reconstruction. In : *Facial Identification*. JL Clement and M. Murray (eds.). Elsevier, pp. 15-32.

**Quincey D**, Carle G, Alunni G, Quatrehomme G (2013) Difficulties of sex determination from forensic bone degraded DNA : a comparison of three methods. *Science and Justice*, 53 (3) 253-60.

**Rennick SL**, Fenton TW, Foran DR (2005) The effects of skeletal preparation techniques on DNA from human and non-human bone. *J Forensic Sci*, 50 (5) 1016-9.

**Rogers T**, Saunders S (1994) Accuracy of sex determination using morphological traits of the human pelvis. *J Forensic Sci*, 39 (4) 1047-56.

**Rogers T**, Allard TT (2004) Expert testimony and positive identification of human remains through cranial suture patterns. *J Forensic Sci*, 49 (2) 203-7.

**Rougé D**, Telmon N, Allery JP, Delmas O (2001) Les recommandations européennes face à la pratique médico-légale française. *J Méd Lég Droit Méd*, 44 (2) 146-147.

**Ruff C** (1987) Sexual dimorphism in human lower limb bone structure : relationship to subsistence strategy and sexual division of labor. *J Human Evolution*, 16, 391-416.

**Ruff C**, Hayes WC (1983a) Cross-sectional geometry of Pecos Pueblo femora and tibiae – a biomechanical investigation. I. Method and general patterns of variation. *Am J Phys Anthropol*, 60, 359-81.

**Ruff C**, Hayes WC (1983b) Cross-sectional geometry of Pecos Pueblo femora and tibiae – a biomechanical investigation. II. Sex, age, and side differences. *Am J Phys Anthropol*, 60, 383-400.

**Sokal RR**, Braumann CA (1980) Significance tests for coefficients of variation and variability profiles. *Syst Zool*, 29, 50-66.

**Steadman DW**, DiAntonio LL, Wilson JJ, Sheridan KE, Tammariello SP (2006) The effects of chemical and heat maceration techniques on the recovery of nuclear and mitochondrial DNA from bone. *J Forensic Sci*, 51 (1) 11-7.

**Stewart TD** (1979) *Essentials of Forensic Anthropology*. Charles C Thomas, Springfield, Ill.

**Subsol** G, Quatrehomme G (2005) Automatic 3D facial reconstruction by feature-based registration of the reference head In : *Facial Identification*. JL Clement and M. Murray (eds.). Elsevier, pp. 79-101.

**Symes SA**, Rainwater CW, Chapman EN, Gipson DR, Piper AL (208) Patterned thermal destruction of human remains in a forensic setting. In : CW Schmidt et SA Symes (eds.). *The Analysis of Burned Human Remains.* Academic Press, Amsterdam, pp. 15-54.

**Taylor KT** (2001) *Forensic Art and Illustration*. CRC Press, Boca Raton, FL.

**Ubelaker DH** (1989) *Human Skeletal Remains. Excavation, Analysis, Interpretation*. Manuals of Archaeology. 2. Library of Congress. Taraxacum, Washington D.C.

**Ubelaker DH** (1991) *Human Skeletal Remains. Excavation, Analysis, Interpretation* Manuals of Archaeology. 2. Library of Congress. 2nd edition. Taraxacum Washington.

**Ubelaker DH** (2000) A history of Smithsonian-FBI collaboration in Forensic Anthropology, especially in regard to facial imagery. Forensic Science Communications, 2 (4). Paper presented at the 9th Biennal Meeting of the International Association for Craniofacial Identification, FBI, Washington DC, 24 July 2000.

**van Gerven DP** (1972) The contribution of size and shape variation to patterns of sexual dimorphism of the human femur. *Am J Physical Anthropol*, 37, 49-60.

## 1.2. Le tissu osseux et le tissu cartilagineux

### 1.2.1. Introduction

Les tissus squelettiques sont constitués par des formes spécialisées de tissu conjonctif. Ils dérivent des cellules mésenchymateuses primitives. L'os est une charpente mais il a en plus de nombreuses fonctions. Le cartilage se situe dans l'arbre respiratoire, le conduit auditif externe, les articulations, stabilisées par des ligaments et tendons. Le tissu squelettique, formé d'une matrice et de cellules, présente des différences fonctionnelles liées essentiellement aux proportions de substance fondamentale et de constituants fibreux de la matrice.

### 1.2.2. Tissu osseux (Wheater et coll. 1987)

#### A) Constitution

##### *1) Introduction*

Le tissu osseux est un tissu conjonctif spécialisé, constitué de cellules, et d'une matrice. Ses cellules sont de trois types : ostéoblastes, ostéocytes, et ostéoclastes. Les ostéoblastes et ostéocytes dérivent des cellules mésenchymateuses appelées cellules souches osseuses. Les ostéoclastes, cellules plurinucléées, sont dérivées des monocytes et macrophages. Ses composants extracellulaires sont minéralisés (sels inorganiques, essentiellement cristaux d'hydroxyapatite, qui constituent le composant minéral de la matrice osseuse), ce qui explique la solidité de l'os. Mais la matrice organique extracellulaire (substance fondamentale glycoprotéique et fibres de collagène) explique aussi l'élasticité de l'os. Les glycoprotéines sont similaires à celles du cartilage, mais la proportion de glycoprotéines sulfatées est moins importante dans l'os que dans le cartilage. Le collagène est essentiellement de type I, et il présente le même aspect strié que celui des autres tissus conjonctifs à collagène. Chaque os offre ainsi le maximum de résistance aux contraintes mécaniques pour le poids minimum. Enfin l'os est une réserve de calcium et en ions inorganiques, participant de façon très active à l'homéostasie. Tout ceci explique que l'os, au cours de la vie, soit en perpétuel renouvellement, pour s'adapter aux contraintes mécaniques, et participer à l'homéostasie.

##### *2) Les cellules*

Il existe donc trois types de cellules. Les ostéoblastes, qui concourent à la formation du tissu osseux ; les ostéocytes, qui sont les cellules principales du tissu osseux constitué ; et les ostéoclastes, responsables de la résorption du tissu osseux.

Les ***ostéoblastes*** ont un corps cellulaire cubique ou prismatique, avec des expansions cytoplasmiques plus ou moins allongées. Fait remarquable, on observe une bordure ostéoïde, quand les ostéoblastes se disposent en une bordure pseudo-épithéliale, le long des plages de tissu osseux préexistant. Le noyau est arrondi, faiblement coloré, avec un volumineux nucléole bien visible. Le cytoplasme est basophile, riche en organites, le Golgi est volumineux. Ces aspects sont dus à l'importance de la synthèse de protéines et de protéoglycanes. Par opposition aux ostéocytes matures, les ostéoblastes sont de grandes cellules osseuses immatures, responsables de la synthèse et sécrétion de la substance ostéoïde. La substance ostéoïde est un composant organique de la matrice extracellulaire de l'os. C'est la minéralisation rapide de l'ostéoïde qui permet de former l'os. Au cours du développement normal de l'os, la substance ostéoïde se calcifie juste après sa formation. Le processus de minéralisation se fait grâce aux ions calcium et phosphates, par formation des cristaux d'hydroxyapatite. Ce n'est que dans certaines conditions pathologiques (par exemple rachitisme, insuffisance rénale chronique) qu'il existe un retard dans la minéralisation, avec une accumulation de substance ostéoïde. Sur une biopsie, la coloration d'un os non décalcifié par le trichrome de Goldner met facilement en évidence la zone ostéoïde, colorée en rouge, entre une couche d'ostéoblastes actifs et l'os minéralisé qui est coloré en bleu.

Les ***ostéocytes*** sont des ostéoblastes prisonniers, totalement entourés par la matrice osseuse, en train de se minéraliser. La cellule est fusiforme, les prolongements nombreux, fins, plus ou moins allongés, le noyau est ovalaire, hyperchromatique, irrégulier, le cytoplasme est pâle, basophile et les organites moins nombreux. Le cytoplasme se rétracte lors de la préparation. Contrairement aux chondrocytes, les ostéocytes n'occupent pas complètement leurs lacunes dans la matrice osseuse. Ils sont responsables de l'entretien de la matrice osseuse. Les canalicules contenant les fines expansions cytoplasmiques des ostéocytes ne sont pas visibles sur une préparation standard.

Quant aux ***ostéoclastes***, ce sont des cellules arrondies et très volumineuses, plurinucléées. La bordure en brosse représente le pôle cellulaire en contact avec le tissu osseux constitué, avec de nombreuses microvillosités irrégulières. Les ostéoclastes sont souvent observés dans les lacunes de Howship, qui sont des dépressions creusées à la surface de l'os. Sur une préparation standard HES non décalcifiée, les ostéoclastes semblent avoir un rapport lâche avec l'os, mais ceci est dû à la préparation. Les ostéoclastes sont très impliqués dans les processus de résorption qui permettent le remodelage continuel de l'os, notamment en fonction des contraintes mécaniques. Ils participent à l'homéostasie du calcium sanguin, sous l'influence de l'hormone parathyroïdienne (qui favorise la résorption ostéoclastique et la libération d'ions calcium à partir de l'os), et de la calcitonine (qui au contraire inhibe l'activité ostéoclastique).

### 3) La matrice

Elle est constituée de très nombreuses fibres collagènes (périodicité habituelle 640 Å), et d'une substance fondamentale très peu abondante, qui contient des glycosaminoglycanes (GAG) [1] (en particulier chondroïtine sulfate). Les sels minéraux de la matrice du tissu osseux sont représentés par des cristaux d'hydroxyapatite, essentiellement du calcium et du phosphate (mais également citrate, carbonate, magnésium, sodium). En microscopie électronique, on observe de très fines aiguilles ou tablettes hexagonales, à grand axe parallèle à celui des fibres collagènes. Ces aiguilles (200 à 1500 Å de longueur, 200 à 400 Å de largeur, et 15 à 75 Å d'épaisseur) sont soit accolées à la surface des fibres collagènes, soit incorporées à l'intérieur des fibres.

Un système de cavités parcoure la matrice. Les cavités communiquent entre elles, et contiennent les ostéocytes et leurs prolongements. Ce système de cavités est constitué d'ostéoplastes (cavités fusiformes contenant chacune le corps cellulaire d'un ostéocyte), et de canalicules (tunnels fins, nombreux, irradiant à partir des ostéoplastes, les faisant communiquer les uns avec les autres). Ces canalicules réalisent un véritable réseau canaliculaire anastomotique, contenant les prolongements cytoplasmiques (non anastomosés) des ostéocytes.

La matrice d'os mature décalcifié montre une éosinophilie importante en coloration standard (HES) qui s'explique par la forte concentration en collagène.

## B) Modalités organisationnelles

### 1) Organisation de base

Il existe deux grands types d'organisation : le tissu osseux non lamellaire (ou primitif, immature) ; et le tissu osseux lamellaire (ou secondaire, adulte, définitif). Dans le ***tissu osseux non lamellaire***, la matrice organique n'est pas disposée en lamelles régulières ; les fibres collagènes ne sont pas parallèles et les cellules sont plus abondantes. Le tissu osseux non lamellaire est une forme immature caractérisée par une organisation entrelacée du collagène, dont les fibres sont plus grossières que celles du tissu osseux lamellaire. Le tissu osseux non lamellaire apparaît donc en premier, remplacé ensuite par le tissu lamellaire. Mais dans certaines circonstances (réparation d'une fracture, certaines tumeurs osseuses), la formation accélérée du tissu osseux chez l'adulte aboutit à la formation de tissu osseux non lamellaire.

Le ***tissu osseux lamellaire*** est le tissu normal de l'adulte, mais il est toujours précédé de tissu osseux non lamellaire, qu'il remplace progressivement. La matrice osseuse est disposée en lamelles superposées : dans chaque lamelle, les fibres collagènes sont arrangées parallèlement selon une direction qui se modifie dans chaque lamelle successive. Entre chaque lamelle on observe les ostéoplastes qui contiennent les corps cellulaires des ostéocytes.

### 2) Os spongieux et os compact

Que le tissu osseux soit lamellaire ou non, on distingue le tissu osseux spongieux et le tissu osseux compact. Dans l'os ***spongieux***, il existe un lacis tridimensionnel de spicules (ou trabécules) osseux, qui sont fins, ramifiés, bordés par une fine couche de tissu conjonctif (endoste), qui contient les cellules souches osseuses. Les trabécules sont anastomosées, délimitant un système labyrinthique d'espaces intercommuniquants, occupés par la moelle osseuse et les vaisseaux. Les trabécules sont composées de lamelles osseuses irrégulières où on observe des lacunes contenant les

[1] Ou glycosaminoglycannes ; anciennement : mucopolysaccharides

ostéocytes. L'os spongieux ne contient pas habituellement de systèmes haversiens. Les échanges métaboliques se font par l'intermédiaire des canalicules, avec les sinusoïdes sanguins de la moelle osseuse.

Les espaces intertrabéculaires de tous les os sont remplis de moelle osseuse contenant les cellules souches. La moelle active (moelle rouge) est remplie de cellules souches en division ; chez le nouveau-né, toute la moelle osseuse est active. Progressivement, la moelle des os longs périphériques devient moins active, et les adipocytes deviennent de plus en plus nombreux (moelle jaune). À l'âge adulte, la plus grande partie de la moelle est inactive. Mais la réactivation est possible. Les artères de la moelle dérivent de l'artère nourricière de l'os, donnant un vaste réseau sinusoïdal entre les cordons de tissu hématopoïétique. Les sinusoïdes se drainent dans une veine qui sort de la moelle avec l'artère nourricière.

Dans le tissu osseux ***compact***, on observe une masse très solide et continue de tissu osseux, dans laquelle les espaces ne peuvent être décelés qu'au microscope. Malgré leurs différences morphologiques évidentes, il n'y a pas de limite franche entre ces deux types de tissu, c'est-à-dire que la transition entre les deux est progressive.

### 3) Os longs, os courts, os plats

Dans les ***os longs***, la *diaphyse* a une paroi épaisse faite de tissu osseux compact, et la cavité médullaire centrale contient de la moelle osseuse. Mais le tissu compact a une disposition remarquable : les *ostéons ou systèmes de Havers* sont des unités structurales cylindriques, avec des lamelles osseuses concentriques autour de canaux vasculaires longitudinaux. Les ostéons sont de taille variable et peuvent comporter 4 à 20 lamelles osseuses concentriques. Cependant il faut penser que les ostéons ne sont pas des cylindres réguliers et juxtaposés : ils peuvent se ramifier, s'anastomoser entre eux. Il faut donc les imaginer en trois dimensions. Les ostéons laissent des espaces entre eux, qui sont comblés par des fragments anguleux de tissu osseux compact représentant des restes d'ostéons antérieurs : ce sont les systèmes interstitiels. Enfin il existe des systèmes circonférentiels externe et interne qui revêtent la surface interne et externe du cylindre osseux compact de la corticale diaphysaire : ce sont des lamelles concentriques de tissu osseux compact qui s'étendent circonférentiellement tout autour de la diaphyse. Au sein du tissu osseux compact, on observe un réseau anastomotique de canaux contenant des vaisseaux sanguins et des nerfs amyéliniques, entourés par du tissu conjonctif lâche en faible quantité : ce sont les canaux de Havers (longitudinaux, situés au centre des ostéons), et les canaux de Volkmann (transversaux ou obliques, reliant entre eux les canaux de Havers, et reliant également les canaux de Havers avec la cavité médullaire et la surface extérieure de la diaphyse). L'os compact décalcifié au microscope montre des systèmes haversiens en section transversale, séparés par des systèmes interstitiels irréguliers. À sa partie externe, l'os haversien se poursuit par des lamelles d'os cortical, surface protectrice épaisse. Au point de rencontre des systèmes haversiens et des lamelles corticales, on observe de fines lignes de ciment, basophiles, qui sont riches en substance fondamentale glycoprotéique. Enfin la surface d'os cortical est recouverte à l'extérieur par le périoste fibreux.

Les *épiphyses* des os longs sont constituées d'os spongieux, où les espaces entre les trabécules communiquent directement avec la cavité médullaire de la diaphyse. Les cartilages articulaires recouvrent les épiphyses et sont formés de tissu cartilagineux hyalin.

Les *métaphyses* sont des colonnes d'os spongieux reliant épiphyse et diaphyse. Au cours du développement d'un os long, la métaphyse est séparée de l'épiphyse par le cartilage de conjugaison.

Les ***os courts*** comme les vertèbres ont une structure voisine d'os compact et d'os spongieux. Enfin les ***os plats*** (voûte du crâne) sont très particuliers car il existe deux tables d'os compact (interne et externe), entourant le diploë (couche centrale d'os spongieux pour ce dernier).

### 4) Périoste et endoste

Quel que soit le type d'os (long, court ou plat), le ***périoste*** revêt la surface externe de tous les os, sauf au niveau des cartilages articulaires. C'est un tissu conjonctif dense fibreux spécialisé en deux couches, qui revêt la surface externe de la plus grande partie de l'os. La *couche interne* contient des cellules conjonctives pouvant devenir des ostéoblastes. La *couche externe* est riche en fibres collagènes, dont certaines se groupent en faisceaux et pénètrent dans le tissu compact (circonférentiel externe et interstitiel), et parfois même toute l'épaisseur de la corticale osseuse, assurant une adhérence étroite du périoste à l'os (ce sont les fibres de Sharpey) ; elle contient de nombreux vaisseaux sanguins provenant des tissus conjonctifs adjacents, qui pénètrent dans les canaux de Volkmann et communiquent avec les vaisseaux des canaux de Havers.

Le périoste permet l'insertion des muscles, tendons et ligaments. Il est absent au niveau des points d'insertion des tendons, des ligaments, dans la zone sous-capsulaire du col fémoral, et au niveau des surfaces articulaires. Le périoste contient de nombreuses cellules souches osseuses, difficiles à distinguer des

fibroblastes. Pendant la croissance ou la réparation, les cellules souches se différencient en ostéoblastes qui réalisent des dépôts de lamelles osseuses concentriques par apposition. Le rôle du périoste dans la réparation des fractures est fondamental, et son absence peut entraîner un retard ou un défaut de réparation de l'os.

L'insertion du muscle sur l'os se fait par un tendon. Mais l'insertion directe du muscle sur l'os est possible. Dans ce dernier cas, l'extrémité des cellules musculaires arrive au contact du périoste, dont les fibres collagènes s'étendent entre les cellules musculaires, se mêlant au collagène de l'endomysium. Dans les zones d'insertion, la surface de la corticale osseuse est rugueuse, les fibres de Sharpey sont solides, pénétrant profondément le tissu osseux.

***L'endoste*** est une fine couche de tissu conjonctif qui tapisse la surface interne de l'os, y compris les trabécules de l'os spongieux : autrement dit les parois de toutes les cavités vascularisées du tissu osseux, c'est-à-dire la cavité médullaire (diaphyse des os longs), les canaux de Havers et de Volkmann (os compact), et les espaces médullaires (os spongieux). Les cellules mésenchymateuses de l'endoste ont une double potentialité, ostéogénique et hématopoïétique.

L'endoste et le périoste contiennent des cellules des lignées ostéogènes responsables de la croissance, du remodelage continu, et de la réparation des fractures.

## C) Développement et croissance de l'os (Wheater et coll. 1987)

Le développement fœtal de l'os se fait par remplacement de tissus conjonctifs par le tissu osseux de deux manières : (a) *l'ossification membraneuse* [1] donnant l'os de membrane. Dans ce cas il y a remplacement direct du mésenchyme par de l'os, c'est-à-dire que la substance osseuse se dépose dans le tissu mésenchymateux primitif ; (b) *l'ossification enchondrale* [2] qui élabore de l'os cartilagineux. Dans ce cas, il existe un tissu cartilagineux en croissance continue qui est progressivement remplacé par de l'os. Le Tableau 1.9 montre les deux types d'ossification en fonction de la localisation. Dans tous les cas, l'os non lamellaire qui résulte de ces processus d'ossification va être remodelé par des résorptions et des appositions, aboutissant au squelette adulte (constitué d'os lamellaire). Enfin, la résorption et l'apposition osseuses se ralentissent considérablement pour répondre aux contraintes fonctionnelles et métaboliques. Les influences qui contrôlent ces modifications complexes sont multiples : contraintes mécaniques (l'os se transforme pour répondre aux fonctions qui lui sont demandées), influences hormonales (hormones de croissance, thyroïdiennes, parathyroïdiennes, et sexuelles).

**Tableau 1.9 : Les deux types d'ossification selon la localisation**

| | |
|---|---|
| ***Ossification membraneuse*** | Voûte du crâne<br>Maxillaires<br>Mandibule |
| ***Ossification enchondrale*** | Os longs<br>Vertèbres<br>Os du pelvis<br>Base du crâne |

***L'ossification membraneuse*** s'effectue à l'intérieur du tissu mésenchymateux primitif condensé. Les cellules mésenchymateuses se différencient en ostéoblastes qui synthétisent et sécrètent de la substance ostéoïde dans des points spécifiques appelés centres d'ossification, qui vont rapidement se minéraliser. À mesure que l'ostéoïde est déposée, des ostéoblastes sont piégés dans des lacunes et deviennent des ostéocytes ; leurs expansions cytoplasmiques se rétractent. Les cellules souches à la surface des centres d'ossification se divisent, donnent de nouveaux ostéoblastes, qui fabriquent du tissu osseux. La formation de l'os se fait de façon progressive, résultant de la fusion des centres d'ossification adjacents, donnant finalement un tissu osseux de type spongieux. Fait remarquable, les fibres de collagène de l'os en développement sont disposées au hasard, formant des faisceaux entrelacés, donnant finalement l'os non lamellaire. L'os non lamellaire subit des remodelages successifs, par dépôts ostéoblastiques et résorption ostéoclastique, donnant soit de l'os compact, soit de l'os spongieux. Enfin, le mésenchyme primitif qui persiste au sein du réseau osseux en cours de développement va se différencier en moelle osseuse.

La voûte du crâne est un bon exemple de l'ossification membraneuse. Elle est constituée de tissu osseux spongieux, condensé sur ses deux faces interne et externe pour donner des surfaces continues et unies. La surface externe du crâne est revêtue par le périoste qui fusionne avec les couches profondes de la peau sus-jacente. La face interne est revêtue aussi par du périoste, qui constitue l'enveloppe la plus externe du cerveau, c'est-à-dire la dure-mère. Il faut que la voûte du crâne se développe de façon harmonieuse avec la croissance, pour permettre notamment l'augmentation de volume encéphalique. Les os de la voûte du crâne en cours de croissance sont reliés les uns aux autres par des sutures de périoste. Ces os vont s'écarter pour permettre la croissance, et de l'os membra-

[1] Ou endomembraneuse ou endoconjonctive
[2] Ou endochondrale

neux néoformé va se déposer au niveau des sutures. En même temps il se produit un dépôt périosté d'os néoformé sur la face externe, et une résorption ostéoclastique sur la face interne. A la maturité, les sutures sont remplies de tissu fibreux dense qui correspond aux couches périostées des os opposés. Progressivement avec l'âge, les sutures s'ossifient et se synostosent.

***L'ossification enchondrale*** concerne en particulier les os longs. Il s'agit de former de l'os capable de supporter les contraintes mécaniques pendant la croissance du squelette. Les cartilages de conjugaison épiphysaires permettent la croissance en longueur des os longs, tout en subissant les contraintes mécaniques et liées au développement.

L'os long va d'abord être constitué de cartilage hyalin solide en forme d'haltère, avec une croissance par apposition. Cette forme d'haltère représente le futur os, avec la diaphyse et les futures zones articulaires ou épiphyses. A l'intérieur de la diaphyse, les chondrocytes vont s'hypertrophier et résorber le cartilage environnant. Il ne reste que de fines trabécules perforées par de la matrice cartilagineuse, qui va ensuite se calcifier. Les chondrocytes dégénèrent, laissant de larges espaces anastomosés, qui permettent aux cellules mésenchymateuses primitives et aux vaisseaux sanguins de coloniser progressivement les espaces libres. Le périchondre de la diaphyse acquiert un potentiel ostéogène et joue le rôle de périoste. Le périoste dépose une fine couche d'os à la surface de la diaphyse. Les cellules mésenchymateuses se différencient en ostéoblastes et en cellules sanguines de la moelle osseuse. Les ostéoblastes forment une couche de cellules à la surface des restes calcifiés de la matrice cartilagineuse, et commencent à former de l'os irrégulier non lamellaire.

Quant aux extrémités, elles sont maintenant séparées par un volumineux centre d'ossification primaire développé dans le fût diaphysaire. Les extrémités cartilagineuses continuent de croître, mais le cartilage des extrémités régresse et permet une ossification. L'os en développement est un fût diaphysaire allongé avec deux épiphyses cartilagineuses à chaque extrémité. La zone située entre la diaphyse et l'épiphyse de chaque côté est le *cartilage de conjugaison*, qui est élaboré de façon continu, d'où un allongement progressif de l'os. La zone de cartilage qui dégénère est remplie par de l'os. La diaphyse grandit et les cartilages articulaires sont repoussés, permettant la croissance. Au microscope, on peut distinguer six zones fonctionnelles et morphologiques : (a) zone de réserve de cartilage. Il s'agit de cartilage hyalin typique, avec des chondrocytes en petits amas, entourés par une grande quantité de matrice faiblement colorée ; (b) zone de prolifération cartilagineuse. Les amas se divisent, donnant des colonnes de chondrocytes séparées par une matrice glycoprotéique fortement colorée ; (c) zone de maturation. Les mitoses sont stoppées et les chondrocytes s'hypertrophient ; (d) zone d'hypertrophie et de calcification. Les chondrocytes sont volumineux, vacuolisés, et la matrice se calcifie ; (e) zone de dégénérescence cartilagineuse. Les chondrocytes dégénèrent. Les lacunes de la matrice calcifiée sont colonisées par les cellules ostéogéniques et les capillaires provenant de la cavité médullaire de la diaphyse ; (f) zone ostéogène. Les cellules ostéogènes se différencient en ostéoblastes, qui se regroupent à la surface des spicules de matrice cartilagineuse calcifiée, où ils commencent l'élaboration du tissu osseux. Cette zone de transition est appelée métaphyse. Au microscope on voit les spicules de matrice cartilagineuse calcifiée entourés d'ostéoblastes et d'os néoformé non lamellaire. Par la suite la croissance de l'os métaphysaire non lamellaire est suivie de remodelages qui permettent ultérieurement la morphologie habituelle d'os compact et spongieux.

Pour arrêter le processus, il faut des modifications hormonales qui stoppent la prolifération du cartilage : les cartilages de conjugaison sont remplacés définitivement par de l'os, d'où, à partir de la non fusion entre diaphyse et épiphyse (Fig. 1.1), on observe une fusion partielle (Fig. 1.2), avant que cette fusion ne devienne totale. A partir de ce stade, aucune ossifi-

**Fig. 1.1 :** Radius. Non fusion entre la diaphyse et l'épiphyse inférieure

**Fig. 1.2 :** Humérus. Fusion partielle entre la diaphyse et l'épiphyse supérieure

cation enchondrale n'est possible. L'augmentation en diamètre de la diaphyse se fait par apposition au niveau du périoste et par résorption ostéoclastique au niveau de l'endoste.

Mais le processus concerne également l'épiphyse. Celle-ci, représentée initialement par une masse cartilagineuse, va subir également une régression centrale permettant une formation osseuse, avec croissance par apposition de cartilage sur toute la surface externe de l'épiphyse. La transformation du cartilage épiphysaire central en os est appelée *ossification secondaire*. Les vaisseaux sont capables de gagner le centre d'ossification secondaire dans des canaux du cartilage. Les différences avec le fût diaphysaire sont d'une part une moins grande organisation morphologique au microscope, et d'autre part l'absence de cartilage de conjugaison. Ensuite, une fine couche de cartilage hyalin persistera en surface, formant le cartilage articulaire.

Ultérieurement, le remodelage va permettre d'obtenir une couche externe d'os compact et une cavité médullaire d'os spongieux. À maturité, l'os médullaire est presque totalement résorbé, laissant une cavité médullaire large remplie de moelle osseuse.

#### D) Réparation d'une fracture

L'os non lamellaire est le premier type d'os formé pendant le développement, mais il s'agit également du premier tissu osseux à apparaître lors de la réparation d'une fracture. Au niveau de la fracture, l'hémorragie crée un caillot sanguin, qui va être remplacé par un tissu conjonctif très vascularisé, qui se densifie progressivement, et est infiltré par du cartilage. Il s'agit d'un pont solide mais flexible appelé cal temporaire. Le cal temporaire est ensuite renforcé par le dépôt de sels calciques à l'intérieur de la matrice cartilagineuse. Les cellules souches mésenchymateuses de l'endoste et du périoste sont également activées, constituant un réseau d'os non lamellaire à l'intérieur et autour du cal temporaire. Progressivement le cal temporaire se transforme en cal osseux. La continuité osseuse est rétablie quand le site de fracture est complètement recouvert par de l'os non lamellaire. Le remodelage ultérieur survient progressivement, notamment sous l'influence des contraintes mécaniques, et c'est ce lent remodelage qui permet de former de l'os lamellaire mature.

#### E) Hématopoïèse

L'os long est formé d'une diaphyse et de deux épiphyses. L'os compact forme les parois de la diaphyse, et l'os spongieux occupe le centre de la diaphyse (cavité médullaire). Chez l'embryon, les cavités médullaires de la plupart des os contiennent de la moelle active (rouge) qui produit des éléments cellulaires du sang (hématopoïèse), à partir de cellules souches pluripotentes, qui se divisent lentement et sont capables de donner un des cinq types cellulaires, devenant une cellule souche déterminée, cette dernière se divisant rapidement pour donner des précurseurs d'un type cellulaire histologiquement identifiable. Les cinq types cellulaires sont l'érythrocyte (globules rouges ou hématies, érythropoïèse), le granulocyte (granulopoïèse), le lymphocyte (lymphopoïèse), le monocyte (monopoïèse), et le thrombocyte ou plaquette, thrombopoïèse). Tous ces évènements se font sous de multiples influences, notamment hormonales (érythropoïétine). Chez le jeune embryon, les cellules souches du sang apparaissent dans le sac vitellin. Plus tard, c'est le foie qui s'occupe de l'hématopoïèse, puis la rate et les nodules lymphatiques. Les os se développent entre le 4$^{e}$ et 5$^{e}$ mois de la vie intra-utérine : l'hématopoïèse peut alors débuter dans les cavités médullaires. À la naissance, l'hématopoïèse se poursuit exclusivement au niveau de la moelle osseuse. Progressivement, jusqu'à l'âge adulte, le nombre de sites hématopoïétiques osseux diminue.

Chez l'adulte, la moelle osseuse active se situe dans quelques zones particulières : les os plats du squelette (côtes et sternum), le rachis, le bassin, et l'extrémité proximale de certains os longs. Les autres sites contiennent de la moelle jaune, inactive sur le plan de l'hématopoïèse.

La moelle active comporte d'une part une fine charpente réticulinique, support des cellules sanguines en cours de maturation, et un système de sinusoïdes anastomosés qui se réunissent en une veine centrale. L'endothélium des sinusoïdes est de type continu, les extrémités des cellules endothéliales se chevauchent. L'hématopoïèse est réalisée dans le réseau réticulinique, avec des cordons cellulaires qui contiennent les différentes lignées en cours de développement, et réparties au hasard. Les macrophages englobent des débris cellulaires en provenance de l'hématopoïèse ; ils entretiennent la charpente réticulinique. Quand le développement est suffisant, les cellules sanguines issues des cordons passent dans la circulation générale en traversant l'endothélium des sinusoïdes.

### 1.2.3. Tissu cartilagineux

#### A) Les articulations (Wheater et coll. 1987)

On distingue les articulations synoviales et les articulations non synoviales. En ce qui concerne les *articulations synoviales* ou diarthroses, il existe dans ce type d'articulations des déplacements osseux importants au niveau des surfaces articulaires. Les surfaces articulaires sont proches, protégées par une capsule fibreuse et les

ligaments, et lubrifiées par le liquide synovial. Dans certaines diarthroses, telles que les articulations temporo-mandibulaires ou du genou, une lame de fibrocartilage peut s'interposer totalement ou partiellement entre les surfaces articulaires, sans toutefois y être fixé.

En ce qui concerne les *articulations non synoviales*, elles sont peu mobiles. Il n'existe pas de surfaces articulaires libres, les os étant reliés par du tissu conjonctif dense. Ce tissu conjonctif peut être de trois types : (a) du tissu conjonctif dense fibreux. Il s'agit des sutures des os du crâne permettant la déformation chez le fœtus pendant son passage dans la filière génitale. Les sutures foetales seront progressivement remplacées par de l'os. Ces articulations sont appelées syndesmoses ; quant elles sont remplacées par de l'os, on les appelle des synostoses ; (b) le cartilage hyalin. Ces articulations sont appelées synchondroses ou articulations cartilagineuses primaires. Il en existe une localisation chez l'être humain adulte : l'articulation qui unit la première côte au sternum ; (c) le fibrocartilage. Il s'agit de deux faces opposées de certains os, recouvertes de cartilage hyalin, mais reliées l'une à l'autre par une lame de fibrocartilage. Ces articulations sont appelées des symphyses ou articulations cartilagineuses secondaires. Les localisations sont la symphyse pubienne, qui présente une cavité centrale vide, et les disques intervertébraux, qui comportent une cavité remplie de liquide.

Dans une articulation classique, les surfaces articulaires sont recouvertes par le cartilage hyalin et maintenues en étroit contact par une capsule fibreuse. Cette capsule s'insère sur les os de l'articulation à une certaine distance des cartilages articulaires. La synoviale comporte une couche de tissu conjonctif spécialisé sur la face interne de la capsule. La densité et l'épaisseur de la synoviale sont variables. La surface de la synoviale forme des replis qui peuvent s'enfoncer dans les cavités articulaires. La synoviale contient de nombreux vaisseaux sanguins lymphatiques et des nerfs, mais également des adipocytes. La surface libre de la synoviale est revêtue d'une couche discontinue d'éléments cellulaires : les uns ressemblent aux fibroblastes, les autres aux macrophages. Ces cellules ne sont pas reliées par des complexes de jonction, et ne reposent pas sur une membrane basale. La surface synoviale n'est donc pas un épithélium.

## B) Constitution générale (Chevalier et Richette 2005)

### *1) Introduction*

Le tissu cartilagineux est un tissu conjonctif semi-rigide. Le cartilage articulaire normal est un tissu très spécialisé, caractérisé par ses propriétés mécaniques (propriétés de résistance aux forces de compression, propriétés d'élasticité, propriétés de glissement des surfaces osseuses grâce à un coefficient de friction faible). Le tissu cartilagineux est une substance solide mais flexible, ce qui est dû aux glycoprotéines, riches en glycosaminoglycanes sulfatées de la substance fondamentale.

Chaque cartilage articulaire est relié à son os long au niveau d'un point appelé lame osseuse terminale. Cette zone est particulière, puisque l'os est dépourvu de systèmes haversiens. Il n'existe pas de canalicules. Les ostéocytes occupent des lacunes particulièrement grandes. Le cartilage articulaire se sépare nettement de la lame osseuse terminale sous-jacente par une fine couche de substances riches en glycoprotéines rappelant les lignes de ciment de l'os haversien. La surface articulaire n'est pas recouverte de périchondre. Les fibres collagènes de la matrice cartilagineuse présentent des striations caractéristiques des fibres collagènes du tissu conjonctif lâche et de l'os, tandis que les fibres collagènes des autres cartilages hyalins ne sont pas striées. Le cartilage articulaire est avasculaire. La nutrition se fait par diffusion

Les tendons sont très résistants mais flexibles, reliant les muscles à l'os et permettant l'exercice de la force musculaire. Le tendon et un tissu conjonctif fibreux très dense (le plus dense de tous). Il est constitué de fibres collagènes au sein desquelles on retrouve des rangées de fibroblastes présentant des noyaux allongés. Le tendon est constitué par de petits faisceaux de tissu très dense, reliés entre eux par du tissu conjonctif plus lâche, moins abondant, faiblement vascularisé.

Les ligaments sont des bandes denses de conjonctif fibreux qui renforcent les capsules articulaires et maintiennent les os correctement. L'histologie est identique à celle des tendons, mais la disposition des fibres collagènes est moins ordonnée, et ils contiennent une quantité variable de fibres élastiques.

En ce qui concerne les articulations intervertébrales, on décrit les disques intervertébraux qui permettent les mouvements des corps vertébraux mais avec un maintien ferme. Le disque réunit les corps vertébraux par des articulations symphysaires. Le disque est constitué par des couches concentriques de fibrocartilage qui constituent l'anneau fibreux. À l'intérieur du disque, il existe une cavité qui contient le nucleus pulposus, qui joue le rôle d'un amortisseur. Des ligaments circonférentiels renforcent en périphérie l'anneau fibreux. Le ligament vertébral commun antérieur, très épais, renforce la partie antérieure de la colonne vertébrale ; le ligament vertébral commun postérieur, plus mince, renforce la partie postérieure.

Par ailleurs les arcs vertébraux sont reliés par des paires d'articulations synoviales. Des ligaments élas-

tiques solides relient les segments osseux des arcs vertébraux, stabilisant le rachis.

### 2) Les chondrocytes

Les cellules étoilées, mésenchymateuses primitives, se différencient pour former les *chondroblastes* (ce sont les cellules souches cartilagineuses), qui synthétisent la substance fondamentale et les fibres extracellulaires. Avec cette sécrétion, les chondroblastes sont séparés les uns des autres. Les chondroblastes deviennent des *chondrocytes* (qui sont les cellules cartilagineuses adultes), capables de maintenir l'intégrité de la matrice cartilagineuse. Les chondrocytes mesurent environ 35 µ et occupent environ 10 % du volume total du cartilage, et jusqu'à 1 % seulement du volume sec du cartilage. Les chondrocytes ont un noyau central développé, des mitochondries et des vacuoles lysosomiales. Le périchondre est un tissu conjonctif dense à la périphérie du cartilage mature, contenant des chondroblastes potentiellement actifs. Les chondrocytes sont des cellules actives en termes de métabolisme (Salter et coll. 1992 ; Martin-Vasallo 2002).

### 3) La matrice extracellulaire

La matrice extracellulaire est composée d'eau (75 % environ du poids humide du cartilage), et de macromolécules (25 % environ du poids humide). Les cations sont abondants, ce qui équilibre les charges négatives des protéoglycanes.

Dans l'environnement immédiat de la cellule, l'espace péricellulaire présente de nombreuses molécules : collagènes de type VI, protéoglycanes, acide hyaluronique, molécules non collagéniques (anchorine, fibronectine). Les protéines sont intégrées sur des récepteurs, dont les principaux s'appellent des intégrines (Salter et al. 1992). Le chondrocyte adapte son métabolisme en fonction des informations apportées par les intégrines. À la surface membranaire on observe des enzymes comme l'acide hyaluronique synthétase, et des métaloprotéases [1]. Le pH de cette zone est relativement acide.

À distance de la cellule, la matrice s'appelle matrice extracellulaire interterritoriale. Ici le pH est neutre. On y décrit des fibres de collagène de type II et des agrégats de protéoglycanes. Les *fibres collagènes de type II* (25 % environ du poids sec du cartilage, 95 % des collagènes du cartilage) sont observées dans le cartilage, le disque intervertébral, et la cornée. Elles forment une triple hélice constituée de trois chaînes alpha identiques (collagène homotrimérique) ou différentes (collagène hétérotrimérique). Chaque chaîne est formée d'une part d'un ou plusieurs domaines collagéniques (répétition d'un triplet comportant essentiellement glycine, proline et hydroxyproline), et d'autre part de domaines non collagéniques situés aux extrémités ou entre deux domaines collagéniques. En fait on distingue plusieurs types de collagènes, fibrillaires, non fibrillaires, de type FACIT [2], et enfin des collagènes formant des réseaux ou des filaments. Les collagènes du cartilage sont de type II, VI, IX, X et XI. Le type X est spécifique du cartilage articulaire. Par contre les autres se voient aussi dans le cartilage de croissance, les fibrocartilages, la cornée et le corps vitré.

Le collagène de type II témoigne du caractère différencié du chondrocyte, et se voit donc dans le cartilage articulaire adulte. Le type II représente 95 % des collagènes du cartilage, réalisant un réseau fibrillaire tridimensionnel par l'assemblage des molécules de collagène II entre elles. Le type II a un rôle très important dans le maintien de la forme et du volume du cartilage articulaire, et dans la résistance à la compression. Le type X semble impliqué dans la minéralisation de la matrice extracellulaire. Le type IX semble stabiliser le réseau collagénique tridimensionnel, en se connectant entre les fibrilles. Le type VI se situe dans l'espace péricellulaire du chondrocyte et semble intervenir dans l'adhésion du chondrocyte à la matrice extracellulaire. Le type XI est à l'intérieur et indissociable des fibrilles de collagène II, contrôlant l'organisation tridimensionnelle et le diamètre des fibrilles (Eyre 2002).

Les *protéoglycanes* vont s'agréger à l'acide hyaluronique. Elles se situent au sein des mailles formées par le réseau collagénique. On distingue les macroprotéoglycanes agrégés (essentiellement les agrécanes, 90 % des protéoglycanes du cartilage), les grands protéoglycanes non agrégés (environ 10 %) et les protéoglycanes de petite masse molaire (environ 3 % : biglycane, décorine, fibromoduline, lumicane). Le monomère *d'agrécane* est constitué d'une protéine axiale (ou core protein) liée par covalence à une ou plusieurs chaînes de glycosaminoglycanes (ou GAG), longue chaîne polysaccharidique formée de la répétition de disaccharides (composés d'un sucre aminé et d'un hexuronate). Ces molécules GAG sont de longues chaînes anioniques hydrophiles, qui captent les ions $Ca^{++}$ et $Na^{+}$, attirant ainsi les molécules d'$H_2O$, véritables éponges emprisonnées dans un réseau collagénique II en mailles serrées, créant une pression osmotique importante, assurant l'hydratation du cartilage, mettant en tension le réseau collagénique du cartilage, participant nettement aux propriétés biomécaniques du cartilage. Un monomère d'agrécane est ainsi

[1] Anc. : métaloprotéinases

[2] Angl. : *fibre associated collagen with interrupted triple helix*

constitué d'une protéine axiale sur laquelle se fixent une centaine de chaînes de chondroïtine sulfate et une trentaine de chaînes de kératane sulfate. La région N-terminale de la protéine axiale se lie de manière non covalente à une molécule d'acide hyaluronique, liaison stabilisée par une glycoprotéine. Les agrégats peuvent être très importants, car plus de 300 molécules d'agrécanes peuvent s'associer sur une même molécule d'acide hyaluronique. Les agrécanes sont synthétisés en intracellulaire, ce qui fait intervenir de nombreuses enzymes, et sécrétés en permanence dans le milieu extracellulaire. L'assemblage à l'acide hyaluronique s'effectue à la face externe de la membrane cytoplasmique des chondrocytes sur lesquels les molécules d'acide hyaluronique sont ancrées.

Les *petits protéoglycanes*, biglycane, décorine, fibromoduline et lumicane, ont en commun une protéine porteuse centrale ; ils ne diffèrent que par la qualité et la quantité de leur GAG. Ces protéines sont riches en leucine. Elles diffèrent notamment par le nombre de chaînes de chondroïtine sulfate ou de kératane sulfate. La décorine et le biglycane sont capables de lier de nombreuses molécules de la matrice extracellulaire, comme les collagènes II et VI, la fibronectine, et certains facteurs de croissance ; elles jouent également un rôle dans la fibrillogenèse du collagène II. La même remarque peut être faite pour la fibromoduline, qui semble très importante pour la liaison des fibres de collagènes entre elles.

Enfin la matrice extracellulaire comporte d'autres protéines, nombreuses, qu'on appelle des glycoprotéines et des protéines non collagéniques. Elles interviennent dans l'architecture et le maintien tridimensionnel de la matrice extracellulaire, aussi bien pour les fibres de collagène II entre elles, que pour la liaison entre protéoglycanes et collagène. Citons la fibromoduline, la fibronectine, la ténascine, l'ostéonectine, les matrilines cartilagineuses, les thrombospondines.

Le renouvellement de la matrice extracellulaire est très long, surtout pour les fibres collagènes qui ne se renouvellent pratiquement pas au cours de la vie. Quant aux protéoglycanes, le renouvellement demande plusieurs centaines de jours.

### 4) Le liquide synovial (Damiano et Bardin 2004)

Le liquide synovial baigne l'articulation. Il s'agit d'un liquide visqueux, difficile à aspirer (ce qui est dû à l'acide hyaluronique de haut poids moléculaire, dont un des rôles est d'attacher les protéoglycanes néosynthétisées), qui contient moins de 300 éléments par $mm^3$, et manque de toutes les protéines de poids moléculaire élevé. Il s'agit en fait d'un ultrafiltrat du plasma. Il évite le contact direct des cartilages articulaires entre eux, lubrifie l'articulation, élimine les débris du cartilage articulaire.

En clinique, un liquide contenant moins de 1000 cellules par $mm^3$ évoque une affection mécanique ; un liquide contenant plus de 2000 cellules par $mm^3$ évoque un rhumatisme inflammatoire, une arthrite septique, ou une arthrite micro cristalline. Si le liquide contient 1000 à 2000 éléments par $mm^3$, il s'agit soit d'une affection inflammatoire soit d'une affection mécanique, mais plus souvent d'une affection inflammatoire. Au-delà de 100 000 éléments par $mm^3$, l'arthrite septique est très vraisemblable ; rarement il s'agira d'une arthrite micro cristalline (notamment la goutte) ou d'une maladie périodique.

La formule leucocytaire à un intérêt relatif. Cependant un pourcentage de polynucléaires neutrophiles supérieur à 95 % évoque une arthrite septique. L'altération des polynucléaires neutrophiles n'est pas spécifique de l'infection. S'il s'agit d'une prédominance lymphocytaire, on évoque plutôt une arthrite virale ou une tuberculose. Cependant cette formule lymphocytaire se voit dans de nombreuses maladies comme la polyarthrite rhumatoïde, la maladie lupique, le rhumatisme post-streptococcique, les hydarthroses intermittentes. La tuberculose articulaire s'accompagne rarement d'une lymphocytose articulaire importante. Les formules monocytaires évoquent avant tout une arthrite virale, mais également une polyarthrite rhumatoïde, une maladie lupique, un rhumatisme psoriasique, ou encore une sarcoïdose. Quant à la formule riche en éosinophiles, elle est rare, et peut se voir chez des sujets allergiques ou dans des arthrites parasitaires, une maladie de Lyme, et au décours d'arthrographies iodées.

Si le liquide est hémorragique, il faut faire la différence avec une piqûre vasculaire lors de la ponction. Un épanchement hémorragique évoque essentiellement un épanchement post-traumatique, notamment à la suite d'une fracture sous-chondrale ; mais également un trouble de coagulation (essentiellement hémophilie ou traitements par antivitamines K), un hémangiome synovial, une synovite villonodulaire, une arthropathie destructrice, certaines arthroses qui entraînent des ulcérations de l'os sous-chondral.

La présence de cellules malignes peut être observée dans le liquide synovial (notamment la présence de blastes au cours des atteintes articulaires des leucémies infantiles).

La présence de bactéries dans le liquide articulaire permet de faire le diagnostic d'arthrite septique, dont le diagnostic n'est pas toujours aisé, et qui doit s'intégrer dans un contexte clinique. L'examen direct doit être suivi d'une mise en culture systématique.

Aujourd'hui on peut compléter par une amplification génique (PCR [1]), mettant en évidence le génome microbien. Cette dernière technique peut être utile dans les infections à pyogènes, la maladie de Lyme, de Whipple, une arthrite gonococcique ou une tuberculose.

La recherche de microcristaux en observant le liquide synovial est également un temps très important pour le diagnostic d'arthropathie microcristalline, avec un microscope optique qui permet d'identifier la forme des cristaux, leurs dimensions et leur position intra ou extracellulaire ; et un microscope à lumière polarisée, qui permet d'étudier la biréfringence, qui peut être faible ou forte, avec une signature optique positive ou négative du cristal. On peut identifier les microcristaux par leur forme et par la déviation de la lumière, due à l'organisation régulière et répétitive des molécules formant le cristal. Une coloration par le rouge alizarine S aide à l'identification des phosphates de calcium. D'une façon générale, il conviendra de se méfier de l'association d'une arthrite septique avec la présence de microcristaux pathologiques. Les cristaux que l'on peut rencontrer en clinique sont très variés (urate monosodique, pyrophosphate de calcium dihydraté, microcristaux de phosphate de calcium, d'oxalate de calcium, de cholestérol, de phospholipides (croix de Malte), des globules lipidiques qui ne sont ni cristallins ni biréfringents, des microcristaux cortisoniques, et exceptionnellement des cristaux de cryoglobulines, des cristaux d'hémoglobine ou d'hématoïdine, alors que les cristaux de Charcot-Leyden sont formés de phospholipases provenant des éosinophiles). L'étude en lumière polarisée permet de définir la réfringence, et même la biréfringence car on utilise deux filtres. Le sens de la biréfringence se traduit par des effets de couleur qui sont analysés en fonction de la position du grand axe du cristal par rapport à l'axe du compensateur qui est indiqué sur celui-ci. Les cristaux négativement biréfringents, tels ceux d'urate monosodique, apparaissent jaunes lorsque leur grand axe est parallèle à l'axe du compensateur et bleus lorsqu'il est perpendiculaire à cet axe. Inversement, les cristaux positivement biréfringents, comme ceux de pyrophosphate de calcium dihydraté, sont bleus lorsque leur grand axe est parallèle à l'axe du compensateur et jaunes lorsqu'il lui est perpendiculaire. Le Tableau 1.10 résume les principales caractéristiques de tous ces cristaux.

La biochimie du liquide articulaire (Damiano et Bardin 2004) peut apporter des éléments complémentaires. La concentration en *protéines* est normalement faible (environ 13 à 28 g/L). Il s'agit de protéines plasmatiques, en dehors des protéines de fort poids moléculaire. La concentration de *glucose* est proche dans le sang et dans le liquide articulaire normal, et dans les arthropathies non inflammatoires. Elle baisse dans les épanchements inflammatoires, théoriquement plus en cas d'infection que de rhumatisme inflammatoire. Le taux de *lactate* peut orienter vers une arthrite septique quand il est élevé (plus de 6 mmol/L), mais il est peu spécifique. Le *hyaluronate* (4 mg/L environ), sécrété par les cellules synoviales, présent dans le liquide synovial normal sous une forme polymérisée, est intéressant pour la compréhension physiopathologique (Damiano et Bardin 2004). Il détermine certaines propriétés physiques du liquide synovial telles que sa viscosité. Dans les liquides inflammatoires, la viscosité baisse du fait de la baisse du degré de polymérisation et de la concentration d'acide hyaluronique dans le liquide articulaire (Damiano et Bardin 2004). Les *lipides* (cholestérol, triglycérides, phospholipides) sont en concentrations faibles dans le liquide synovial normal, car les lipoprotéines sont de dimensions trop importantes pour pénétrer dans la cavité articulaire. Leur taux augmente en cas de perméabilité vasculaire synoviale accrue, avec souvent dégénérescence spumeuse des macrophages du liquide articulaire. Les traumatismes articulaires avec fracture sous-chondrale sont une étiologie importante de l'irruption de lipides. La *ferritine* n'est pas spécifique, puisqu'elle s'élève dans les arthropathies inflammatoires mais aussi mécaniques. *L'histamine et le facteur von Willebrand* [2] sont élevés dans les liquides articulaires rhumatoïdes et mécaniques. La concentration du *complément hémolytique total* (CH50) dans le liquide synovial normal est égal à la moitié du taux sanguin. Il est souvent abaissé au cours de la polyarthrite rhumatoïde, alors que les taux sanguins sont normaux, probablement par consommation locale.

### 5) Nutrition

Le cartilage ne contient pas de vaisseaux sanguins, de lymphatiques, ni de nerfs. Les échanges métaboliques entre les chondrocytes et l'environnement se font par diffusion à travers la substance fondamentale, précisément des capillaires synoviaux vers le liquide synovial, puis la matrice extracellulaire du cartilage. Les molécules assez petites pénètrent par simple diffusion. Les grosses molécules pénètrent grâce à la compression intermittente due aux mouvements articulaires. Les macromolécules ne peuvent pas pénétrer (par exemple albumine, immunoglobulines, alpha2-macroglobu-

[1] Polymerase chain reaction

[2] Anc. : facteur de Willebrand ; anglais : *vWF*

**Tableau 1.10 : Principaux cristaux retrouvés dans le liquide articulaire pathologique ***

| Types de cristaux | Caractères | Pathologies |
|---|---|---|
| Urate monosodique | Fines aiguilles à extrémités effilées paraissant transpercer les cellules (typiques de la goutte)<br>Taille jusque 40 µ ; mais peuvent être fragmentées<br>Parfois bâtonnets courts à extrémités coupées ressemblant au pyrophosphate de calcium dihydraté<br>Forte biréfringence négative | Goutte |
| Pyrophosphate de calcium dihydraté | Bâtonnets courts aux extrémités coupées<br>Cristaux quadrangulaires (parallélépipède trapu, carreaux ou cubes)<br>Rarement aiguille<br>Biréfringence positive faible ou absente<br>1 à 20 µ<br>Colorés par rouge alizarine S | Chondrocalcinose |
| Phosphate de calcium | Forme la plus fréquente : apatite<br>Non décelables en MO ou lumière polarisée<br>Rouge alizarine S : amas cristallins d'apatite de forme arrondie, rouge vif<br>Biréfringence | Mise à nu de l'os sous-chondral<br>Arthrite aiguë microcristalline (rare) |
| Oxalate de calcium | En « enveloppe cachetée » (forme dihydratée ou weddelite)<br>Ou formes plus irrégulières,<br>(oxalate de calcium monohydraté ou whewellite) | Oxalose primitive ou secondaire à une insuffisance rénale |
| Cholestérol | Grandes plaques à bords souvent encochés du fait de la superposition imparfaite de plusieurs de ces plaques<br>Ou forme de grandes aiguilles négativement biréfringentes (rare) | Dégénérescence<br>spumeuse des macrophages<br>Bursites rhumatoïdes<br>Inflammations articulaires chroniques (notamment<br>polyarthrites auto-immunes) |
| Phospholipides (croix de Malte) | Phospholipides<br>provenant de la dégradation des membranes cellulaires<br>Quelques croix de Malte sont banales | Observées au décours<br>d'hémarthroses.<br>Rarement arthrites aiguës |
| Globules lipidiques | Non cristallins et non biréfringents<br>Proviennent des adipocytes de la moelle osseuse ou de la graisse sous-synoviale | Traumatismes |
| Microcristaux cortisoniques | Très nombreux microcristaux cortisoniques intracellulaires fortement biréfringents (taille et sens de la biréfringence varient en fonction du composé en cause) | Arthrites aiguës microcristallines dans les heures suivant l'injection intra-articulaire.<br>Arthrite septique |
| Cristaux de cryoglobulines | De grande taille et fortement biréfringents<br>Nature protéique donc colorations histologiques habituelles | Cryoglobulinémies<br>monoclonales de type I cristallisées<br>(proliférations plasmocytaires<br>monoclonales) |
| Cristaux d'hémoglobine<br>ou d'hématoïdine | Cristaux d'hémoglobine : au sein des globules rouges ; forme carrée ou rectangulaire ; biréfringence<br>Cristaux d'hématoïdine : apparaissent après plusieurs jours de stockage ; couleur jaune brunâtre en lumière ordinaire ; forme en cube ou en losange | Liquides très hématiques |
| Cristaux de Charcot-Leyden | Forme en losange allongé<br>Biréfringence faible, positive ou négative | Formés de phospholipases provenant des éosinophiles |

** données issues de Damiano et Bardin (2004)*

line, etc.). Il existe cependant des canaux cartilagineux, transportant de petits vaisseaux jusqu'au centre du cartilage, quand le cartilage est très épais. C'est le cas des cartilages costaux. Mais d'une façon générale, le cartilage articulaire est un des rares tissus qui fonctionne en hypoxie, le gradient hypoxique variant de 10 % de teneur en oxygène en surface à 1 % seulement en profondeur. La couche superficielle bénéficie cependant de la diffusion d'oxygène présent dans le liquide synovial. Le glucose, principal substrat énergétique du chondrocyte, est dégradé par la glycolyse anaérobie, transformé en glucosamine pour synthétiser des protéoglycanes (Mobasheri et coll. 2002).

Le tissu cartilagineux s'accroît soit par croissance interstitielle, soit par croissance par apposition (ou périchondrale). Il est plus étendu chez le fœtus, constituant l'ébauche initiale de l'os.

## C) Organisation (Chevalier et Richette 2005)

On distingue le cartilage hyalin, le cartilage élastique, et le fibrocartilage.

**Le *cartilage hyalin*** est le plus répandu (cloison nasale, larynx, anneaux trachéaux, extrémité sternale des côtes, et **la plupart des surfaces articulaires**). Macroscopiquement, le cartilage articulaire normal de l'adulte (sujet jeune ayant terminé sa croissance) possède une surface blanche, lisse et brillante, un peu translucide, d'où le nom de cartilage hyalin. Il est souple et un peu déformable. Il permet le glissement des surfaces osseuses du fait d'un coefficient de friction très faible. Il est résistant, ce qui n'empêche pas son élasticité. Il absorbe une partie des pressions, avec un rôle d'amortisseur. Il repose sur l'os sous-chondral, et ce dernier joue également un rôle notable dans les fonctions de résistance et de déformabilité. Le caractère élastique est expliqué en partie par l'hydrophilie des protéoglycanes ; la rigidité est expliquée en partie par le réseau des fibres collagènes de type II. Une charge physiologique permanente ou une charge intermittente normale favorisent l'anabolisme ; au contraire une charge mécanique trop importante ou à vitesse trop élevée ou trop rapprochée entraîne une diminution de la capacité de synthèse protéique, notamment les protéoglycanes, et une fissuration possible du réseau collagène, en tout cas *in vitro* ; l'immobilisation prolongée d'une articulation entraîne une atrophie du cartilage et une acidification du liquide articulaire. L'épaisseur est variable selon l'articulation, le plus épais se situe au niveau de la fémoro-patellaire (6 mm voire plus) et de la fémoro-tibiale (5 mm voire plus).

Le cartilage de croissance présente des chondrocytes en maturation active, qui aboutit à l'ossification enchondrale (Kronenberg 2003), avec un processus d'apoptose.

Au contraire le cartilage articulaire présente une maturation cellulaire très ralentie, avec un processus d'apoptose très réduit, permettant de conserver la présence et la hauteur de cartilage articulaire. Les chondrocytes ne migrent pas et se multiplient peu ou pas (si le cartilage est normal).

Le cartilage articulaire est formé dans la partie la plus interne de petits amas de chondrocytes matures (amas de deux à quatre cellules bien différenciées) au sein d'une matrice de substance fondamentale, renforcée par des fibres de collagène. Les chondrocytes sont installés dans des logettes (un chondrocyte dans une logette). Les chondrocytes matures ont un noyau de petite taille, une chromatine dispersée, un cytoplasme basophile granuleux (du fait d'un réticulum endoplasmique granulaire bien développé) et riche en glycogène. Une des caractéristiques importantes sur le plan morphologique est la présence de gouttelettes lipidiques bien développées, plus volumineuses que le noyau. De l'intérieur vers l'extérieur, les chondrocytes sont de moins en moins différenciés. Les cellules de la surface externe du périchondre ressemblent aux fibroblastes matures. Elles ne sont pas en amas comme la couche interne de chondrocytes.

La matrice du cartilage hyalin est faite d'une substance fondamentale amorphe avec un collagène de type II non strié, fait de fines fibrilles entrelacées. Ce collagène n'est pas visible en microscopie optique. La coloration de la matrice est variable, selon la concentration en glycoprotéines acides sulfatées ; elle est intense autour des amas de chondrocytes bien différenciés, elle est faible dans le périchondre. Dans le cartilage adulte, les constituants de la matrice extracellulaire sont renouvelés en permanence. Ce sont les chondrocytes qui sécrètent la substance fondamentale et les fibres.

A noter qu'au niveau du cartilage articulaire, le collagène est strié, contrairement à toutes les autres localisations.

Finalement, la description du cartilage articulaire normal est essentiellement histologique et biochimique, de la superficie à la profondeur : (a) à la surface du cartilage, la *lamina splenda* est acellulaire et recouvre la couche superficielle. La lamina splenda permet aux macromolécules du liquide synovial (acide hyaluronique, phospholipides, lubricine) de s'accrocher, ce qui protège le cartilage ; (b) puis la *couche superficielle* présente des chondrocytes aplatis et de petites dimensions, d'allure fibroblastique, qui pourraient correspondre à des préchondrocytes. La zone est riche en fibronectine et pauvre en protéoglycanes.

Les fibres collagènes sont parallèles à la surface, ce qui augmente la résistance aux forces de tension ; (c) la *couche moyenne (ou intermédiaire)* représente environ 45 % de la hauteur totale. Les chondrocytes sont de grande dimension et apparaissent assez sphériques. Les fibres collagènes n'ont pas d'orientation particulière ; (d) la *couche profonde* (ou radiale) représente environ 45 % de la hauteur totale, comme précédemment. Les chondrocytes sont en colonnettes le long de travées épaisses de collagène. L'orientation du collagène est perpendiculaire à la surface. La concentration en protéoglycanes est élevée ; la couche calcifiée représente environ 10 % de la hauteur totale. Les fibres collagènes sont radiaires sans continuité avec les fibres collagènes de l'os sous-jacent. La zone est pauvre en protéoglycanes, riche en calcium. La ligne de démarcation [1] sépare la couche de cartilage calcifiée de la zone profonde. Cette ligne de démarcation est ondulée, basophile, et interdit la pénétration des vaisseaux de l'os sous-chondral. Mais certaines molécules sont capables de passer.

La densité cellulaire varie selon l'articulation, la profondeur (la couche superficielle est la plus cellulaire) et l'âge du sujet (le nombre de cellules diminue avec l'âge).

Le cartilage articulaire normal est un tissu sans innervation et sans vascularisation. Comme nous l'avons vu, la nutrition est réalisée par imbibition à partir du liquide synovial pour les couches superficielles du cartilage, et de l'os sous-chondral pour les couches profondes.

Le ***cartilage élastique*** est le cartilage du pavillon de l'oreille, du conduit auditif externe, de l'épiglotte, d'une partie des cartilages laryngés, de la paroi de la trompe d'Eustache. Son aspect histologique est identique au cartilage hyalin. La croissance du cartilage élastique se fait par apposition, ou par croissance interstitielle. Il s'agit d'un cartilage flexible, ce qui s'explique par la présence de nombreux faisceaux de fibres élastiques anastomosées au sein de la matrice cartilagineuse, particulièrement denses près des chondrocytes. Le collagène est l'élément essentiel du périchondre, se mêlant ici à de rares fibres élastiques.

Le ***fibrocartilage*** présente des aspects intermédiaires entre le cartilage et le tissu conjonctif dense. Sa localisation est au niveau des disques intervertébraux, de la symphyse pubienne, et dans certains cartilages articulaires. Il est associé à du tissu conjonctif dense au niveau des capsules articulaires, des ligaments, et de certains tendons. Il est fait d'une alternance de couches de matrice cartilagineuse hyaline contenant des chondrocytes et de couches épaisses de fibres collagènes denses orientées par les forces de tension. Les chondrocytes sont alignés entre les couches de collagène dense, dans la matrice glycoprotéique.

[1] Anglais : *tide-mark*

## Bibliographie


**Chevalier X**, Richette P (2005) Cartilage articulaire normal : anatomie, physiologie, métabolisme, vieillissement. *EMC Rhumatologie Orthopédie* 2, 41-58.

**Damiano J**, Bardin T (2004) Liquide synovial normal et pathologique. *EMC Rhumatologie Orthopédie*, 1, 2-16.

**Eyre DR** (2002) Collagen of articular cartilage. *Arthritis Res*, 4, 30-35.

**Kronenberg HM** (2003) Developmental regulation of the growth plate. *Nature*, 423, 332-6.

**Mobasheri A**, Vannucci SJ, Bondy CA, Carter SD, Innes JF, Arteaga MF, Trujillo E, Ferraz I, Shakibaei M, Martín-Vasallo P (2002) Glucose transport and metabolism in chondrocytes : a key to understanding chondrogenesis, skeletal development and cartilage degradation in osteoarthritis. *Histol Histopath*, 17 (4) 1239-67.

**Salter DM**, Hughes DE, Simpson R, Gardner DL (1992) Integrin expression by human articular chondrocytes. *Br J Rheumatol*, 31, 231-4.

**Wheater PR**, Burkitt HG, Daniels VG (1987) *Histologie Fonctionnelle*. 2e édition. Medsi/McGraw-Hill, Auckland.


# 1.3. La mort (signes, diagnostic, datation)

## 1.3.1. Signes de la mort

### A) Introduction

Comment définir la mort ?

Cette question peut paraître surprenante, mais elle se justifie par le fait que la mort est habituellement un phénomène **progressif**, **ambigu**, et **actif** : (a) progressif, car, même dans les décès instantanés ou brutaux, les cellules ne meurent pas instantanément, elles conservent une activité (enzymatique par exemple) pendant un certain temps. On sait que certaines cellules sont très fragiles, très rapidement altérées de façon irréversible (les neurones), alors que d'autres peuvent persister beaucoup plus longtemps (les fibroblastes) ; (b) ambigu, car le diagnostic de décès n'est pas toujours évident, puisqu'il existe des diagnos-

tics différentiels ; (c) actif, car le corps physiologique ou pathologique devient un corps physico-chimique et obéit simplement à d'autres lois. Par exemple : les échanges physico-chimiques existent après la mort, et les liquides descendent par gravité, expliquant en partie la formation des lividités ; la disparition des défenses immunitaires explique l'importance des phénomènes bactériens *post mortem* et la pullulation microbienne ; la disparition de la régulation thermique explique que le corps se mette en équilibre avec la température extérieure etc.

La définition de la mort n'est donc pas aisée. En réalité, il n'existe pas véritablement de définition technique ou scientifique de la mort (en dehors du problème très particulier de la mort cérébrale, que nous reverrons plus loin). Le point essentiel est d'affirmer **l'irréversibilité** du phénomène. Or le caractère éventuellement irréversible est susceptible de varier dans le temps, avec l'état des connaissances scientifiques. Par exemple un arrêt cardiaque brutal était irréversible il y a un siècle, alors qu'aujourd'hui cet état est susceptible de réversibilité si les mesures de réanimation adéquates sont entreprises dans les plus brefs délais. La « peur de la mort » est une crainte métaphysique de tout être humain ; la « peur d'être enterré vivant », a existé de tout temps : à certaines périodes, une clochette était reliée au gros orteil du défunt dans son cercueil, afin qu'il puisse l'actionner si par hasard il se réveillait. Cette crainte est renforcée par des affaires exceptionnelles et fortement médiatisées, où le soi-disant défunt se réveille à la morgue : ces affaires ont en fait un seul fondement, un examen médical absent ou insuffisant.

Il n'existe donc pas de définition technique simple de la mort ; la définition juridique de la mort ne concerne qu'un cas très particulier, la mort cérébrale. **Pour le médecin, le diagnostic de décès est primordial et doit être effectué avec le plus grand soin.** Il engage en effet sa responsabilité pleine et entière, d'abord pour le diagnostic positif du décès, ensuite dans les décisions concernant l'obstacle médico-légal et l'autorisation ou non de certaines opérations funéraires. Sur un plan humain, on conçoit combien un diagnostic erroné serait catastrophique, sans parler des implications médico-légales.

Pour le médecin légiste, le diagnostic étiologique, la datation, la « forme médico-légale de la mort », sont d'un intérêt considérable. Mais bien des questions complémentaires sont posées autour d'un décès : ce sont toutes les questions susceptibles d'être posées aux Assises.

## B) Signes précoces de la mort

Ils sont appelés également signes de la mort fonctionnelle, signes négatifs de la vie. Ils sont essentiellement en rapport avec un arrêt des fonctions vitales (DiMaio et DiMaio 2001) : il s'agit de signes neurologiques, respiratoires et cardio-vasculaires, que l'on peut apprécier sur le plan clinique et éventuellement par des examens complémentaires.

### *1) Signes neurologiques*

L'abolition de toute conscience et vigilance, l'immobilité totale, attirent immédiatement l'attention. L'absence de tout réflexe, la mydriase bilatérale, complètent ces éléments.

Ces signes sont intéressants, mais peuvent être mis en défaut dans certaines circonstances. On notera par exemple que l'abolition des réflexes ostéo-tendineux est immédiate, alors que l'abolition de certains réflexes du tronc cérébral peut être retardée. La mydriase bilatérale est très fréquente, mais elle n'est pas constante. Tous les médecins légistes ont observé dans certains cas des pupilles en position intermédiaire voire en myosis (Fig. 1.3), et, plus surprenant en apparence, une asymétrie pupillaire flagrante. Ces variations s'expliquent par la cause du décès. Un toxique myotique pourra entraîner un myosis *post mortem* persistant, et une pathologie cérébrale unilatérale (hématome extradural par exemple) peut expliquer la présence d'une mydriase unilatérale, alors que l'autre pupille est en position intermédiaire.

Enfin le relâchement neurologique général est à l'origine de béances vaginales et anales (Fig. 1.4), qui doivent être bien connues des médecins, afin de ne pas introduire la suspicion d'agressions sexuelles lors de la découverte de cadavres. Ces béances peuvent survenir précocément, ou à l'occasion de la décomposition du corps.

Sur le plan paraclinique, quatre examens complémentaires méritent d'être mentionnés. La thanato-pharmaco-ophtalmologie consiste à instiller des collyres mydriatiques et myotiques dans les yeux, et en apprécier les éventuels effets. La stimulation musculaire *post mortem* est justifiée par le fait qu'il persiste une certaine excitabilité musculaire dans les premières heures suivant un décès dûment authentifié. Ces examens complémentaires soulignent l'ambiguïté de la définition de la mort, et représentent une aide à la datation *post mortem*, quand le délai est relativement court.

Les deux autres examens complémentaires ont un intérêt dans le cadre de la mort cérébrale. Il s'agit de l'électroencéphalogramme et de l'artériographie.

**Fig. 1.3 :** Pupille en myosis. Habituellement les deux pupilles sont en mydriase. Occasionnellement elles sont en myosis ou en position intermédiaire. Rarement existe une asymétrie pupillaire, qui peut éventuellement s'expliquer par une lésion cérébrale unilatérale survenue avant le décès

**Fig. 1.4 :** Béances anale et vaginale. La béance anale et vaginale sont absolument normales en *post mortem* et ne doivent pas faire évoquer une agression sexuelle

### *2) Signes respiratoires*

L'absence de toute ventilation est un autre signe négatif de la vie. Elle est imagée, dans les pratiques fort anciennes et dans les films, par le signe du miroir : autrefois on tentait de recueillir le dernier souffle du sujet devant un miroir approché de sa bouche ; quand la mort avait fait son œuvre, l'absence de buée sur le miroir était supposée en témoigner.

Dans la réalité, de nombreuses pathologies sont susceptibles d'entraîner des désordres majeurs ou chaotiques des mouvements respiratoires, qui ne doivent donc pas être confondus avec l'arrêt respiratoire total et irréversible.

### *3) Signes cardio-vasculaires*

Sur le plan clinique, l'arrêt cardiaque se manifeste par l'absence de tout bruit cardiaque à l'auscultation, l'absence de tous les pouls, la tension artérielle non prenable. Autrefois une cardiopuncture pouvait être réalisée, en plantant un trocart dans le cœur, vérifiant ainsi l'absence de toute activité cardiaque (!!!) ; ou encore une artériotomie radiale ou temporale, permettant également d'affirmer l'absence de circulation. Les épreuves de Rebouillat à l'éther ou d'Icart à la fluorescéine, moins brutales, procédaient de la même idée : mettre en évidence l'absence de toute circulation. En l'absence de circulation, l'éther injecté dans la peau ne diffuse pas et tend à ressortir en jet, et la fluorescéine injectée dans un vaisseau ne diffuse pas vers les yeux, et ne colore donc pas les conjonctives. Toutes ces épreuves n'ont plus cours aujourd'hui.

De nombreuses pathologies sont susceptibles d'entraîner des désordres cardiaques majeurs, initiaux ou terminaux, avec des troubles du rythme ou de conduction qui peuvent en imposer pour un véritable arrêt cardiaque.

Sur le plan paraclinique, l'électrocardiogramme apporte des renseignements incontestables : troubles du rythme ou de conduction, bradycardie extrême, fibrillation ventriculaire, arrêt cardiaque total sans aucune activité électrique ? La phase agonique peut donner des tracés chaotiques, avant que l'arrêt cardiaque total et irréversible ne soit prononcé. L'électrocardiogramme permet donc la différence entre un tracé très perturbé, où il existe une activité non efficace mais existante (parfois cela en impose pour un arrêt cardiaque) ; un tracé agonique (activités rares et de plus en plus dégradées, se terminant souvent par une fibrillation ventriculaire) ; et un tracé totalement plat où n'existe aucune activité cardiaque. Seule cette dernière éventualité permet d'établir l'arrêt cardiaque et donc l'absence de toute circulation. L'artériographie apporte également la preuve de l'arrêt circulatoire.

## C) Signes tardifs

On les appelle également signes de la mort élémentaire, de la mort tissulaire, de la mort lésionnelle, ou signes positifs de la mort. Autrement dit, quand ces signes existent, le diagnostic de la mort est très simple et sans ambiguïté. Les cellules vont progressivement mourir en fonction de leur sensibilité. Ces signes sont

**Fig. 1.5 :** Lividités habituelles sur un sujet retrouvé en décubitus dorsal. Les lividités suivent les lois de la pesanteur, elles sont déclives. Par contre elles ne siègent pas dans les zones de pression, ce qui donne un aspect blanchâtre en contraste avec la couleur habituellement violacée des lividités

**Fig. 1.6 :** Les lividités sont absentes dans les zones de pression. Les zones blanchâtres représentent les zones de pression, ici asymétriques et parfaitement dessinées dans cette observation

dus essentiellement à l'acidification, la stase, la déshydratation, et le refroidissement

On reconnaît quatre signes majeurs : les lividités cadavériques, la rigidité cadavérique, le refroidissement cadavérique, et les signes oculaires.

Les ***lividités*** sont des taches colorées (malgré leur appellation), la coloration allant de rose à rouge voire violacée, selon les cas. Elles sont dus à l'accumulation de sang et de liquides dans les petits vaisseaux, par gravité ; puis au fait qu'en *post mortem*, les barrières physiologiques s'altèrent puis s'effondrent : ainsi les liquides contenus dans les vaisseaux, dans les cellules et dans le milieu interstitiel, vont franchir ces barrières devenues inopérantes. Premier fait fondamental, elles obéissent aux lois de la pesanteur : les liquides descendent, donc on retrouve les lividités en position postérieure si le corps est sur le dos (Fig. 1.5), et *vice versa*. Deuxième fait fondamental : elles sont absentes aux points de pression du corps (phénomène de l'éponge pressée) (Fig. 1.6), car la compression empêche l'accumulation de liquide. Ainsi, typiquement, sur un corps en décubitus dorsal, on observe des lividités postérieures (en position standard anatomique), et qui respectent le haut du dos, en jonction avec les épaules, ainsi que les fesses, les mollets et les talons (zones de pression qui apparaissent blanchâtres). Mais les lividités sont également absentes dans les zones en pression par la flexion d'un membre (Fig. 1.7, Fig. 1.8) ou les zones serrées par un vêtement : soutien-gorge, ceinture, taille … Dans ces circonstances, les zones blanchâtres du corps représentent les zones en relief du support, et les zones colorées par les lividités les régions du corps situées entre les zones en relief. Occasionnellement, les lividités sont particulières, par exemple chez ce sujet particulièrement musclé où les points d'appui ont été largement déterminés par la saillie des muscles du dos (Fig. 1.9), ou chez ce sujet retrouvé décédé sur la cuvette de ses toilettes (Fig. 1.10), avec une zone d'appui évidente « en forme » due à la lunette des toilettes sur les fessiers, et une zone d'appui du dos sur le mur.

Les lividités obéissent à une certaine chronologie et constituent un élément intéressant de la datation de la mort, nous y reviendrons, en sachant qu'il existe beaucoup de variations, du fait de facteurs externes (environnement) et internes (cause de la mort, certaines pathologies …) ; la chronologie varie avec certitude avec ces facteurs internes et externes. Il faut donc être prudent dans l'estimation de cette chronologie. La coloration peut varier significativement, typiquement rouge cerise dans les intoxications au monoxyde de carbone, coloration qui concerne les téguments mais aussi les viscères (Fig. 1.11) et dans les décès hypothermiques. Les lividités sont parfois absentes : nouveau-né, anémie, prélèvements d'organes.

Les lividités existent également au niveau des différents organes, et spectaculairement au niveau de la face postérieure (en position anatomique) des poumons, qui prennent une coloration violette totalement différente de la couleur rosée de la face antérieure des poumons (Fig. 1.12), et au niveau de la face postérieure du foie, lui donnant un aspect bicolore très caractéristique. Les lividités des organes sont volontiers appelées hypostase viscérale.

Nous parlerons plus loin de la datation de la mort. Cependant, on peut retenir, selon DiMaio et DiMaio (1993), que l'apparition des lividités se fait en 30 minutes à deux heures, que les lividités sont maximum entre 8 et 12 heures, et qu'elles sont éventuellement fixées au-delà de 12 heures. Avant la fixation, les lividités peuvent s'effacer ou disparaître quand un

**Fig. 1.7 :** Zone de pression au pli du coude, qui indique que le membre supérieur était en flexion

**Fig. 1.8 :** Zone de pression dans la région de l'aisselle, qui indique que le membre supérieur était en contact avec le tronc

**Fig. 1.9 :** Distribution particulière des lividités, due au fait que la victime était particulièrement musclée, avec des muscles en relief représentant les zones de pression

**Fig. 1.10 :** Distribution particulière des lividités, due au fait que la victime est décédée sur les toilettes

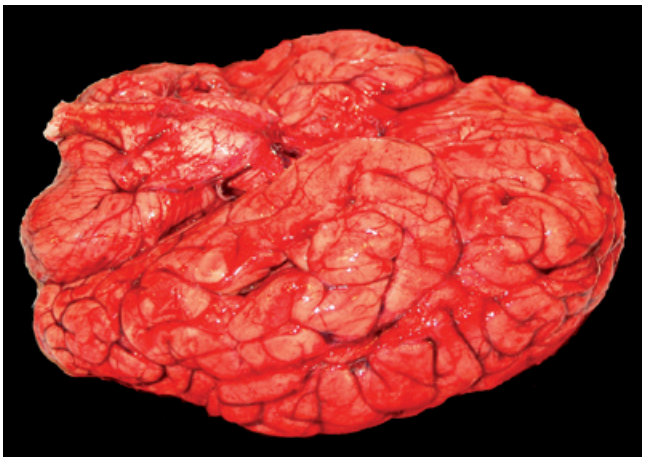

**Fig. 1.11 :** Intoxication par le monoxyde de carbone. Noter la couleur rouge très marquée (dite rouge cochenille), qui concerne aussi bien les téguments que les viscères

**Fig. 1.12 :** Lividités des viscères (appelée hypostase viscérale) au niveau de la partie déclive des organes. Noter la différence majeure de coloration des parties antérieure et postérieure du poumon, sur une victime découverte en décubitus dorsal

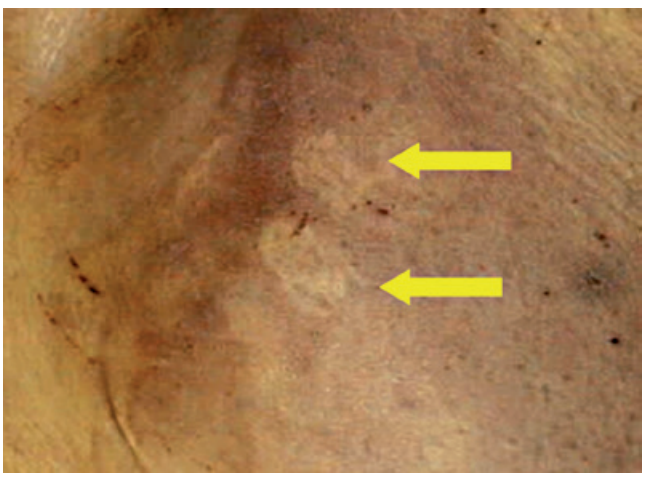

**Fig. 1.13 :** Lividités non immuables. Les lividités se sont effacées à la digitopression (flèches)

**Fig. 1.14 :** Lividités paradoxales. Dans cette observation les lividités ne sont pas en concordance avec la position du corps, puisque la victime a été découverte en décubitus ventral. L'intervention d'un tiers est certaine

corps est retourné par exemple, pour coloniser les nouvelles parties déclives. Ainsi le sang et les liquides sont capables de se remobiliser et de s'accumuler dans les zones nouvellement déclives. Cliniquement on apprécie cette possible mobilisation par la digitopression : les lividités s'effacent ou disparaissent dans la zone pressée par le doigt (Fig. 1.13), encore qu'il ne soit pas certain que les deux phénomènes (digitopression et remobilisation des lividités quand la position du corps est modifiée) soient totalement en phase, chronologiquement ; il existe probablement un décalage, qui explique peut-être en partie les variations de chronologie données par les différents auteurs.

En fait la fixation complète des lividités n'est certaine que quand le sang et les liquides fuient dans les tissus mous, à cause de la rupture des vaisseaux et de l'hémolyse. La fixation varie aussi en fonction de la température : une température plus basse peut retarder cette fixation. Autrement dit, la fixation des lividités après 12 heures est une approximation, et pour certains auteurs elle existe entre 8 et 20 heures, 8 et 24 heures, ou 12 et 24 heures.

Les lividités sont certes intéressantes pour l'estimation du délai *post mortem*, mais également très intéressantes pour déterminer si un corps a été déplacé après le décès (DiMaio et DiMaio 1993). Du fait de leur caractère déclive, et le fait qu'elles vont se constituer progressivement, la position paradoxale des lividités (Fig. 1.14) indique donc immédiatement au médecin légiste qu'un corps a été déplacé par un tiers, fait fondamental en médecine légale.

Le diagnostic différentiel est habituellement aisé pour les médecins légistes. Les ecchymoses, hématomes, pigmentations dermatologiques diverses, posent peu de problèmes en pratique. Une incision au bistouri redresse aisément le diagnostic dans certains cas difficiles. Mais la plus grande difficulté est représentée par les lividités pétéchiales ou purpuriques. Les anglo-saxons les appellent taches de Tardieu (alors qu'en France on utilise plutôt ce terme dans les asphyxies mécaniques), et elles sont dues à la rupture de petits vaisseaux par la pression due au sang qui s'accumule en position déclive. Habituellement cet aspect pétéchial ou purpurique prend 18 à 24 heures pour se constituer, et souvent indique que le début de la décomposition est proche. Mais avec les membres inférieurs pendant sur le côté d'un lit, ou encore aux extrémités d'un corps pendu, ces pétéchies *post mortem* peuvent apparaître très rapidement, 2 à 4 heures après la mort (DiMaio et DiMaio 1993). Ce phénomène pétéchial et purpurique purement *post mortem* est bien plus fréquent et commun en *ante mortem*, avec les asphyxies et les morts lentes, notamment en cas d'insuffisance respiratoire ou cardiaque terminale. La différenciation entre ce dernier phénomène (*ante mortem*) et les lividités pétéchiales (*post mortem*) peut devenir difficile à mesure que le délai *post mortem* s'allonge. Le meilleur signe est la localisation déclive, très en faveur de lividités, donc de nature *post mortem*. L'autre difficulté est représentée par le traumatisme crânien. Le corps reposant sur le dos, les lividités tendent à s'accumuler sur les parties déclives du scalp ; avec la décomposition, la différenciation avec un authentique traumatisme du scalp peut être difficile. De la même façon avec le sang se collectant en région occipitale de l'encéphale, par simple gravité, qui, avec la décomposition, peut aboutir à des ruptures de petits vaisseaux ; et en imposer pour des hémorragies sous-arachnoïdiennes ou sous durales intéressant les lobes occipitaux. Dans les noyades, quand le corps flotte tête en bas, la décomposition peut simuler une hémorragie diffuse du scalp.

La ***rigidité cadavérique*** est un état de rétraction, raideur, ankylose articulaire (Fig. 1.15), qui serait due à la disparition de l'ATP (adénosine triphosphate) en milieu anaérobie. L'ATP est la molécule énergétique de l'organisme, permettant entre autre la contraction musculaire. Cette molécule est indispensable au muscle notamment, car sa quantité ne permet de maintenir la contraction musculaire que quelques secondes. Il est donc indispensable que l'ATP soit fourni au muscle en permanence pour maintenir une activité musculaire. Cette fourniture permanente se fait grâce à trois systèmes : le système phosphagen (15 secondes d'énergie pour le muscle), le système glycogène-acide lactique (30 secondes d'énergie), et le système aérobie (« illimité »). En l'absence d'ATP, les filaments d'actine et de myosine restent imbriqués en

**Fig. 1.15 :** Rigidité cadavérique. Victime figée dans cette position particulière par la rigidité cadavérique, puissante et difficile à vaincre

permanence, le muscle est en contraction, expliquant la survenance de la rigidité cadavérique.

La rigidité cadavérique est puissante quand elle est installée, devenant difficile à rompre. Théoriquement elle « *commence en haut et finit en bas* » (Loi de Nysten) : mandibule, puis membres supérieurs, puis membres inférieurs. Elle fixe habituellement les membres supérieurs en légère flexion, et les membres inférieurs en extension. Cependant la rigidité peut fixer le corps dans des positions qui peuvent paraître parfois étranges, comme dans cette observation où le corps a été découvert en piscine (Fig. 1.16).

Elle obéit également à une certaine chronologie, nous y reviendrons. Comme les lividités, la rupture incongrue d'une rigidité peut indiquer que le corps a été mobilisé par un tiers. En pratique la rigidité est souvent rompue au niveau des coudes ou des genoux, du fait du transport ou de la mobilisation du corps par les Pompes Funèbres ou les agents de morgue : il vaut mieux apprécier la rigidité au niveau de la mandibule, des poignets et des chevilles, si on n'a pas été appelé sur place.

La rigidité est donc un élément utile de datation de la mort, en sachant qu'il existe beaucoup de variations, du fait de facteurs externes (environnement) et internes (cause de la mort, certaines pathologies …) et qu'il faut donc être prudent dans ce type d'estimation. D'une façon générale, toute situation *ante mortem* qui contracte les muscles (exercice musculaire intense, pathologies tétanisantes comme l'épilepsie, le tétanos) peut entraîner une accélération de la survenue de la rigidité cadavérique. La température corporelle élevée avant la mort aboutirait au même phénomène (DiMaio et DiMaio 1993), mais dans ce cas la survenue du début de la putréfaction est plus rapide, entraînant une résolution plus rapide de la rigidité. Ces facteurs favorisants peuvent aboutir à une apparition de la rigidité en quelques minutes, et même pour certains auteurs de façon instantanée : on parle alors de spasme cadavérique. DiMaio et DiMaio (1993)

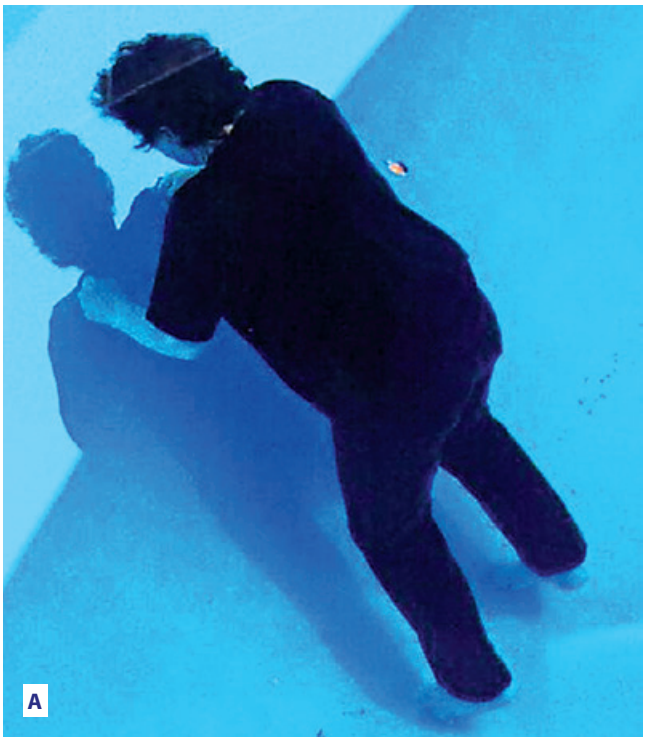

**Fig. 1.16 : A.** Rigidité cadavérique particulière. Corps découvert dans une piscine. Photographie prise lors de la levée de corps **B.** Même observation. Aspect très particulier de la rigidité

rapportent l'observation d'un sujet qui poursuivait sa femme avec un rasoir à la main ; sa femme l'a abattu, le tuant instantanément d'un coup de feu. Le sujet fut retrouvé sur la scène en position agenouillée, avec son bras droit en extension vers le haut, et le rasoir fermement dans sa main, vers le haut également. Cette observation importante semble démontrer la réalité de

la survenue possible de la rigidité cadavérique instantanée, dans certaines circonstances.

La résolution de la rigidité survient avec la décomposition. Si le froid voire la congélation tendent à retarder la survenance de la rigidité, ils vont également en prolonger sa persistance, car la décomposition est retardée.

La rupture de la rigidité est irréversible. Seule l'évolution restante de la rigidité, si elle n'était pas complètement installée, se poursuit. D'où le concept de la rigidité qui se « reproduit ou pas si on la rompt », ce qui aide à la datation.

Le ***refroidissement*** représente la mise en équilibre avec la température extérieure, du fait de la disparition de la thermorégulation physiologique. On considère qu'il existe une perte linéaire d'environ un degré par heure pendant les quatre premières heures ; puis la diminution n'est plus linéaire.

La comparaison de la température du corps (rectale) avec la température ambiante est sans doute un des meilleurs signes pour dater la mort. Cependant il convient d'être prudent car la perte de température dépend de facteurs externes (température autour du corps, humidité, vent, sujet habillé ou non …) et internes (obésité, décès de maladie infectieuse avec hyperthermie, décès neurologique avec hyperthermie ; ou au contraire hypothermie, par exemple en cas d'agonie …). De plus il existe le phénomène du *plateau thermique*, qui fait que la descente de température est parfois retardée, avec un plateau initial de 1 à 3 heures (notamment dans les cas d'obésité, de sujets très habillés …), ce qui peut modifier grandement l'appréciation du délai *post mortem*.

En pratique on se sert d'abaques avec des facteurs de correction. Avec un peu d'expérience, la température est sans doute un des meilleurs (ou moins mauvais) critères de datation du décès. Il faut tenir compte dans le raisonnement de l'atteinte ou non de l'équilibre thermique avec la température extérieure. Une des difficultés à laquelle on se heurte régulièrement est l'ouverture intempestive des fenêtres par les premiers intervenants, ce qui modifie la température extérieure et obère totalement l'estimation du délai *post mortem*.

La température a été mesurée au niveau rectal, hépatique, encéphalique … La mesure de la température tympanique donne de bons résultats (Baccino et coll. 1996, 2007 ; Cattaneo et coll. 2009), et semble éviter les plateaux thermiques observés avec la température rectale (Baccino et coll ; 1996). L'utilisation de la thermographie infrarouge tympanique, absolument non invasive, donne des résultats similaires au recueil classique de la température tympanique par perforation (Cattaneo et coll. 2009). Il est possible d'utiliser de façon pratique diverses équations publiées dans la littérature, les nomogrammes de Henssge, ou encore la formule de Marshall numérisée, tenant compte de la taille du sujet, de son poids, de sa surface corporelle, et de facteurs de correction (Beauthier 2008, 2011).

Les ***signes oculaires*** sont des adjuvants pour aider à la datation de la mort : l'œil perd son éclat normal en 3 heures (donc quand l'œil reste vif, dans les circonstances habituelles, cela signifie que le délai *post mortem* est inférieur à trois heures) ; ensuite la déshydratation devient de plus en plus marquée, avec une hypotonie des globes oculaires, qui vont progressivement s'effondrer. La tache noire concerne la sclérotique, et est simplement due à la déshydratation *post mortem* ; elle n'a pas d'autre signification ni intérêt.

Les autres signes sont la ***déshydratation*** et la dessiccation de la peau. La déshydratation des lèvres et des doigts est banale, évoluant volontiers vers une momification localisée fréquente. La déshydratation va concerner tout le corps, avec une perte de 15 à 20 Kg/jour (Durigon 1988). Les *plaques parcheminées* sont dues à la dessiccation de la peau dans des zones abrasées avant la mort, mais également en *post mortem* : la zone concernée se dessèche, durcit et jaunit, comme un parchemin, d'où son nom. Quand on frappe avec un instrument métallique sur une plaque parcheminée, on obtient un son particulier par rapport à l'environnement de la plaque.

Tous ces signes sont recueillis très simplement, lors de l'examen externe du corps. Ils affirment le diagnostic de décès sans ambiguïté, et permettent une estimation du délai *post mortem*. D'autres signes peuvent être recueillis lors de **l'autopsie**. Indéniablement l'autopsie va permettre d'affiner cette estimation du délai *post mortem*. Certains éléments simples doivent être observés : la vessie vide (plutôt début de nuit) ou pleine (plutôt fin de nuit) ; et le contenu gastrique (plein non digéré, plein digéré, ou vide), qui permet de se faire une idée du délai entre le dernier repas et le décès, avec beaucoup de prudence. La ***coagulation du sang*** est intéressante à noter. Le sang reste fluide après la mort, sauf pathologie, pendant une heure environ (Durigon 1988). Le sang ne coagule ensuite que dans quelques zones (cœur et gros vaisseaux), restant liquide ailleurs. Les étudiants en médecine sont toujours surpris de voir que le sang *post mortem* est fluide, et siège essentiellement dans les veines et non les artères.

Les ***transsudations dans les séreuses*** s'expliquent par l'augmentation de perméabilité des membranes, d'où une transsudation passive de liquide vers les cavités naturelles (plèvres : 200 $cm^3$ dans chaque cavité pleurale ; péricarde : 20 $cm^3$ ; péritoine : 100 $cm^3$, sont des chiffres banals retrouvés lors d'une autopsie, et sans signification pathologique) (Durigon 1988). Le liquide transsudé est d'abord clair et citrin, puis trouble et rosé après 36 à 48 heures, et enfin graisseux

avec des gouttelettes lipidiques après quelques jours. La ***desquamation cellulaire*** épithéliale va également troubler les urines en un à deux jours, sans que l'on évoque le diagnostic d'infection urinaire. Le liquide cérébro-spinal va également s'altérer, avec une fausse cytologie élevée (souvent il s'agit de faux lymphocytes, dus à des noyaux nus du revêtement méningé). Ensuite on observe l'état de chaque organe lors de l'autopsie, qui nous aide à la datation de la mort. Ces éléments peuvent être complétés par l'observation des tissus au microscope, et certains examens complémentaires sur lesquels nous reviendrons.

## D) Évolution ultérieure du corps

### 1) Introduction

L'évolution du corps est loin d'être univoque. L'évolution habituelle est la décomposition. Mais l'évolution vers l'adipocire ou la momification est loin d'être rare (Sledzik et Micozzi 1999 ; Clark et coll. 1999 ; Dix et Graham 2000). Assez souvent plusieurs types d'évolution sont associés sur un même corps. L'évolution ultime est la squelettisation. D'une façon générale, l'évolution d'un corps est très dépendante de l'environnement (voir par exemple Janaway 1997), cet environnement étant de triple nature : biologique, chimique et géologique. Autrement dit il existe de nombreux paramètres, dont le dosage subtil et respectif peut aboutir à favoriser la décomposition, la momification, ou l'adipocire.

Il existe un certain nombre d'observations de l'évolution taphonomique de cadavres humains, ainsi que des études expérimentales sur la décomposition des corps, par exemple au Canada dans l'Ontario du Sud (Janjua et Rogers 2008), certaines zones de l'Afrique (Behrensmeyer 1978 ; Tappen 1994), en Australie du Sud-Est (Littleton 2000), Pays de Galle (Andrews 1995), USA (Wisconsin) (Tappen et Peske 1970). Les variations taphonomiques sont tellement dépendantes des conditions extérieures que ce type d'étude par région, et donc avec des climats différents, est très utile, car nous pouvons tenter d'extrapoler le cas particulier à résoudre à partir d'un climat supposé proche (par l'observation ou l'expérimentation). Les études expérimentales ont souvent utilisé des carcasses de porcs adultes, faciles à se procurer, et peu onéreuses (Shalaby et coll. 2000 ; Shean et coll. 1993 ; Turner et Wiltshire 1999) ; le porc juvénile se décompose habituellement plus vite que l'adulte (Behrensmeyer 1978). La décomposition du porc a souvent été considérée comme proche de celle du corps humain (Catts et Goff 1992), en tout cas en ce qui concerne les parties molles (Forbes et coll. 2002, 2004). En ce qui concerne les os, l'os de chien serait plus proche de l'os humain en terme de composition de l'os compact et trabéculaire, de minéralisation, densité du cortex, notamment pour l'os fémoral (Aerssens et coll. 1998).

### 2) Putréfaction

Le corps se décompose, et ce processus est appelé putréfaction. C'est le processus le plus classique de l'évolution du corps. Son début est marqué par la tache verte abdominale. Cette coloration débute en regard du caecum, et semble due à la formation de sulfhémoglobine et de choléglobine (Morovic-Budak 1965 ; Katsumata et coll. 1985 ; Nichol et coll. 1968). La tache verte, cantonnée à la fosse iliaque droite initialement, va diffuser à l'ensemble de l'abdomen (Fig. 1.17). Occasionnellement la tache verte débute par le côté gauche de l'abdomen ou le thorax.

La décomposition du corps est un véritable processus de liquéfaction (Dent et coll. 2004), qui évolue

**Fig. 1.17 :** Tache verte abdominale. La tache verte débute habituellement à la fosse iliaque droite puis s'étend comme ici à l'ensemble de l'abdomen

progressivement pour permettre à terme la squelettisation. La décomposition est très dépendante de facteurs environnementaux (Janaway 1997; Galloway 1997; Owsley et Compton 1997). En dehors des facteurs climatiques (température, humidité notamment), un facteur important à prendre en compte est la différence entre inhumation directement en terre ou inhumation en cercueil. Le corps en contact direct avec la terre démontre une interaction différente par rapport au corps dans un cercueil. Le sol est un milieu à la fois minéral, organique, et biologique (micro et macro-organismes biologiques). Habituellement le cercueil s'effondre après un certain temps, laissant le corps se décomposer à l'intérieur. Occasionnellement, l'effondrement du cercueil survient rapidement, d'où un contact intime rapide avec le sol. Tous les intermédiaires entre «cercueil résistant», «cercueil peu résistant», et inhumation directement dans le sol, sont possibles.

En réalité, il faut distinguer deux processus de nature différente: l'autolyse et la putréfaction proprement dite. *L'autolyse* est un processus endogène, qui dégrade les cellules après la mort, par les propres enzymes et produits toxiques de l'organisme, sans intervention microbienne. Tous les mécanismes régulateurs qui existaient pendant la vie s'effondrent, ce qui permet ce processus autolytique, qui débute très rapidement après la mort, comme le démontre l'évolution anatomopathologique. Selon Durigon (1988), les surrénales apparaissent capsulaires en 24 à 48 heures à 20°C; l'ensemble des parois digestives est lisse, fin, luisant; le pancréas est rougeâtre, légèrement succulent, humide, en 12 à 24 heures; le cerveau se ramollit rapidement (quelques jours), les circonvolutions s'effacent, les sillons se comblent; puis il est transformé en une bouillie crémeuse jaunâtre, qui secondairement, se rétracte en une masse gris verdâtre (30 jours à 20°C); le thymus se liquéfie en quelques jours en masse.

L'autre processus, la *putréfaction* proprement dite, est un processus à la fois endogène et exogène, dû à la pullulation microbienne surtout anaérobie, issue essentiellement de l'intestin et du poumon, et aux larves de mouche qui vont attaquer et liquéfier le corps, notamment grâce à leurs enzymes. Les bactéries et champignons agissent par leurs enzymes (Evans 1963; Polson et coll. 1985), qui s'attaquent aux tissus et participent à leur liquéfaction, aboutissant à des produits de décomposition (le corps est formé essentiellement d'eau, de protéines, de graisses, de sucres et de minéraux (Tableau 1.11). La putréfaction proprement dite débute habituellement après 36 à 72 heures. Les bactéries aérobies utilisent l'oxygène, permettant ensuite aux bactéries anaérobies d'intervenir dans des conditions favorables. Ces bactéries anaérobies proviennent de l'intestin, mais aussi du sol et même de l'air présent à l'intérieur des restes (Evans 1963).

**Tableau 1.11: Composition moyenne du corps humain ***

| | |
|---|---|
| Eau | 64 % |
| Protéines | 20 % |
| Lipides | 10 % |
| Substances minérales | 5 % |
| Glucides | 1 % |

** d'après van Haaren (1951)*

La décomposition débute par la tache verte abdominale, qui survient environ 36 à 48 heures après le décès (pour une température à 20°C). Cette coloration verdâtre, peu visible au début, très habituellement en fosse iliaque droite, va progressivement s'accentuer, et diffuser à l'ensemble de l'abdomen, puis à l'ensemble du corps, et même, à un moindre degré, à tous les tissus. Le début en fosse iliaque droite serait dû à l'intensité de la pullulation microbienne au niveau du caecum. La coloration verdâtre est due à la formation de sulfhémoglobine et de choléglobine (Nichol et coll. 1968). Cette coloration verdâtre va progressivement foncer, tourner au brunâtre puis noirâtre.

Par ailleurs le corps gonfle (Fig. 1.18). Ce gonflement est dû aux bactéries anaérobies qui pullulent et produisent du gaz. Le corps gonfle au début au niveau des lèvres, des organes génitaux externes, des seins. Puis le gonflement diffuse à l'abdomen qui peut devenir monstrueux. D'autres signes de cette production de gaz sont les phlyctènes putrides (bulles cutanées remplies de gaz comme l'azote, l'hydrogène, le méthane, le $CO_2$), qui sont multiples sur la peau (Fig. 1.18); et la «circulation posthume» (Fig. 1.19) (la pression du gaz pousse le sang dans les vaisseaux, ce qui donne une arborisation des vaisseaux superficiels, très caractéristique). Les gaz chassent également le sang des cavités cardiaques des gros vaisseaux vers le système veineux: ainsi donc, il n'y a pas de sang intracardiaque chez le cadavre verdâtre. Les explosions de cercueil dues aux gaz semblent du domaine de la fantaisie (Polson et coll. 1985; Wilkins 1992).

On observe un décollement épidermo-dermique (Fig. 1.20) (l'épiderme colle aux gants et se détache facilement), des alopécies en plaques (les cheveux se détachent souvent aisément par touffes).

L'odeur, faible en début de putréfaction, devient très forte et tenace. Les personnes qui n'y sont pas habituées tolèrent très mal cette très forte odeur de putréfaction. Certains sont incapables de rester dans un appartement où existe un corps en putréfaction.

# *Index*


**A**

accouchement 1512, 1529
  – accouchement précipité 1532, 1535
acétabulum (fractures de l') 1392
adipocire 46
  – hydrolyse 48
  – saponification 48
ADN
  – acide désoxyribonucléique 1106
  – adénine 1106
  – ADN codant 1107
  – ADN de contact 1116
  – ADN mitochondrial 1107, 1108, 1112
  – ADN non codant 1108
  – ADN nucléaire 1108, 1111
  – ADN polymérase 1112
  – ADN *post mortem* 1109
  – amorces 1112
  – amplification génique 1111
  – antiparallélité 1106
  – appariement des bases 1106
  – ARN de transfert 1108
  – ARN ribosomial 1108
  – bases azotées 1106
  – bases juridiques 1109
  – chaîne polynucléotidique 1106
  – CNIL 1109
  – code « dégénéré » 1107
  – code génétique 1107
  – code non ambigu 1107
  – complémentarité des deux brins d'ADN 1107
  – contamination 1113
  – cytosine 1106
  – dénaturation 1107
  – détermination du sexe 1113
  – double hélice 1107
  – effet stochastique 1112
  – fichier national automatisé d'empreintes génétiques 1109
  – filiation maternelle 1107, 1112
  – filiations *post mortem* 1109
  – FNAEG 1109
  – fragments de restriction 1111
  – gène amélogénine 1113
  – génome 1107
  – génotype 1108
  – guanine 1106
  – hétérozygote 1108
  – homozygote 1108
  – homozygote ; sinon hétérozygote 1108
  – horloge moléculaire 1108
  – hybridation 1107
  – identification absolue 1118
  – liaisons hydrogène 1106
  – limites juridiques 1122
  – limites techniques 1120
  – mutations 1107
  – nucléoside 1106
  – nucléotide 1106
  – PCR 1111
  – perte d'allèle 1112
  – phénotype 1108
  – Polymerase Chain Reaction 1111
  – polymorphisme de site 1112
  – polymorphisme de taille 1108, 1111
  – prélèvements 1114
  – réplication 1107
  – Short Tandem Repeats 1108
  – sondes moléculaires 1111
  – STR 1108
  – taq polymérase 1112
  – thymine 1106
  – traduction 1108
  – transcription 1108
  – Variable Number of Tandem Repeats 1108
  – VNTR 1108
  – Watson et Crick 1107
adulte (estimation de l'âge à partir d'un crâne adulte) 283
agent vulnérant 1356
âge, synthèse 933
  – angle basal 1004
  – angle d'antéversion du col 1006
  – anneau vertébral 973
  – apparition des différents points d'ossification 976
  – apparition des points d'ossification à l'adolescence 1007
  – chronologie des fusions épiphysaires 1010
  – courbes staturo-pondérales 996
  – critères dentaires 990
  – critères de viabilité du fœtus 944
  – degré de minéralisation dentaire 990
  – détermination de l'âge de la naissance jusqu'à l'adolescence 958
  – développement osseux 938
  – dimension des os 991

– épaisseurs corticales 1004
– éruption dentaire 990
– estimation de l'âge du fœtus 951
– estimation de l'âge du fœtus à partir des dimensions osseuses 951
– estimation de l'âge fœtal 935
– estimation de l'âge fœtal à partir de la longueur du corps (ou stature fœtale) 946
– estimation de la longueur du corps du fœtus (stature fœtale) à partir des dimensions osseuses 948
– fermeture de la suture sphéno-basilaire 1007
– fermeture des fontanelles 990
– fusion des épiphyses 1010
– fusions tardives 1021
– méthode d'Acheson 965
– méthode de Greulich et Pyle 960
– méthode de Lefebvre et Koifman 973
– méthode de Nahum et Sauvegrain 965, 972
– méthode de Pyle et Hoerr 973
– méthode de Risser 973
– méthode des 100% 1019
– méthode de Sempé 970
– méthode de Tanner et Whitehouse 965
– nouveau-né à terme 945
– passage de l'adolescence à l'âge adulte 1006
– réflexions sur l'estimation de l'âge chez l'adulte 1026
– selle turcique 1004
– stades de fusion 1016, 1020
– synchondrose sphéno-basilaire 1007
– synchondrose sphéno-occipitale 1007
– test de Risser 973
– viscères 958
aile de papillon (fracture en) 1377
amincissement pariétal 923, 1198
anatomo-pathologie 1170
– autolyse 72
– putréfaction 73
ancienneté des ossements ou des restes
– aspect crayeux 115
– cheveux 121
– composition du sol 124
– défects 115
– dégradation ultérieure de l'os 114
– densité 114
– dispersion 114
– données de l'enquête 124
– environnement animal 123
– environnement matériel 123
– fissurations superficielles 115
– fluorescence UV 117
– microscope électronique à balayage 117
– os gras 114
– papier 118
– persistance de ligaments ou tendons 114
– plastiques 121
– prescription pénale 113
– présence de sable ou terre 115
– radioéléments 117
– squelettisation 113
– textiles 119
angulation 1378
animal, humain … ou d'autre nature? 104
– biologie moléculaire 110
– histologie 108
– immunologie 108
– indice cortico-médullaire 106
– macroscopie 105
– radiologie 107
– rocher humain ou animal 106
*ante mortem*
– lacunes crâniennes 1195
– lésions traumatiques *ante mortem* 1191
– pathologies congénitales ou acquises 1195
*ante*, *péri* ou *post mortem*
– colorations 1200
– lacunes crâniennes 1195
– lésions *ante mortem* 1191
– lésions *péri mortem* 1199
– lésions *post mortem* 1206
– lésions traumatiques *ante mortem* 1191
– os sec 1190
– os vert 1190
– pathologies congénitales ou acquises 1195
– pathologies osseuses 1195
– période d'incertitude 1189
anthropologie
– historique 10
anthropologie lésionnelle 99, 1189
– diagnostic lésionnel 16
– lésions *ante*, *péri*, et *post mortem* 16
– mécanismes 16
anthropologie médico-légale 1
armes à feu
– absence d'entonnoir 1260
– absence de stries de rainurage 1298
– actes de survie 1300
– angle de percussion du projectile 1289
– angle de tir 1288
– antimoine 1296
– armes 1225
– armes trafiquées ou bricolées 1298
– arrachements osseux 1262
– artéfacts radiologiques 1286
– aspects atypiques 1247
– balistique des balles 1233
– balistique lésionnelle 1225, 1241
– balistique non lésionnelle 1225
– balles 1228, 1229
– balles blindées 1229
– balles de chasse 1239, 1241
– balles moulées 1298
– barillet 1226
– baryum 1296
– bascule 1237
– bourre 1254
– bout portant 1244
– bout touchant 1243
– bout touchant appuyé 1243
– bout touchant incomplet 1244
– bout touchant non appuyé 1243
– bout touchant oblique 1244
– calibre 22 1231
– calibre d'un fusil de chasse 1239
– calibre nominal 1232
– calibre réel 1232
– calibres 1231, 1292
– canon rayé 1225
– canon lisse 1228, 1239
– carabines 1228
– caractéristiques individuelles 1294

– cartouches 1228
– cause et circonstances du décès 1298, 1299
– cavité permanente 1234
– cavité temporaire 1234
– champignonnage 1237
– charges 1228
– chargeur 1226
– chevrotines 1239, 1240
– chipping 1262
– choke 1239
– cible intermédiaire 1254
– classe générale 1293
– clavicule 1276
– collerette érosive 1242
– contaminations 1296
– contournement 1278
– côtes 1274
– crâne 1258
– décélération du projectile 1237
– décomposition 1278
– déflexion à la sortie 1277
– déflexion à l'entrée 1277
– délai de survie 1300
– diagnostics différentiels de l'entonnoir 1265
– direction du tir 1255
– direction générale du tir 1288
– dispersion des plombs 1251
– distance de tir 1254, 1290
– distance intermédiaire 1245
– douilles 1228
– élargissement asymétrique 1259
– élargissement de l'orifice 1258
– élargissement paradoxal 1261
– élargissement symétrique 1259
– embolie balistique 1278
– empreintes digitales 1295
– empreintes génétiques 1295
– énergie cinétique 1233, 1235
– entonnoir endocrânien 1258
– entonnoir exocrânien 1266
– entonnoir inversé 1261, 1267
– entrées 1258
– entrées atypiques 1247
– érosion 1268
– essuyage 1255
– étuis 1228
– expertise de l'arme suspecte 1297
– fenêtre d'éjection 1296
– flamme de bouche 1239
– forme médico-légale de la mort 1301
– formes de l'orifice de sortie 1265
– formes des entrées osseuses 1258
– fracture primaire 1278
– fractures 1278
– fractures de Hopkinson 1263
– fractures secondaires 1278
– fractures subséquentes 1279
– fractures tertiaires 1278
– hémorragie 1299
– identification de l'arme qui a tiré 1293
– identification du tireur 1295
– incapacitation 1301
– interposition d'un écran 1237
– interprétation du phénomène d'élargissement 1263
– lésions en terrasse 1269
– lésions osseuses 1256
– lésions par armes de chasse 1249
– lésions par balles 1241
– lésions par balles de chasse 1253
– lésions par chevrotines 1253
– lésions par plombs 1251
– lésions post-crâniennes 1273
– lésions semi-lunaires 1268
– long feu 1297
– microscope électronique à balayage 1296
– migrations tissulaires 1278
– mitraillettes 1228
– mitrailleuses 1228
– non interchangeabilité des cartouches 1233
– ogives 1229
– omoplate 1276
– orifice d'entrée 1242
– orifice de sortie 1246
– orifices cachés 1288
– os longs 1273
– percussion annulaire 1231
– percussion centrale 1229
– phénomène « boules de billard » 1288
– phénomène d'élargissement 1267
– phénomène d'entonnoir 1258
– pièges radiologiques 1284
– pistolet 1226
– pistolets de scellement 1298
– pistolets mitrailleurs 1228
– plomb 1296
– plombs 1239, 1240
– pointe creuse 1229
– pointe mousse 1229
– polyéthylène 1240
– position anatomique standard 1289
– position réelle de la victime 1289
– poudre 1229
– projectiles 1229
– puissance d'arrêt 1235
– puissance de pénétration 1235
– radiographies corps entier 1282
– radiologie 1282
– reconstitution judiciaire 1290
– reconstruction 1257
– résidus de tir 1282, 1296
– résonance 1297
– revolver 1226
– ricochet externe 1277
– ricochet interne 1277
– semi-blindé 1229
– sévérité des lésions 1298
– signe du croisement 1279
– sillon 1268
– sorties 1265
– sorties atypiques 1248
– suie 1245
– surpression intra-crânienne 1280
– survie 1300
– tangentiel 1268
– tatouage 1245
– tirs à distance 1242
– tirs à faible distance 1243
– trace du percuteur 1295
– trajet 1290
– trajet du projectile 1247, 1276

– trajets atypiques 1248
– trou de serrure 1270
– usinage 1294
– usure 1294
– vertèbres 1275
– vêtements 1243, 1254
asphyxies mécaniques 1538
– asphyxies autoérotiques 1547
– cartilage cricoïde 1551
– cartilage thyroïde 1539, 1551
– grande corne 1539
– impacts directs au niveau du cou 1553
– larynx 1539
– mort subite par inhibition 1546
– nœud 1542
– os hyoïde 1539, 1551
– pendaison-décapitation 1546, 1547
– pendaison pendulaire 1547
– pendaison-précipitation 1547
– pendaisons 1542
– petite circulation 1538
– sillon de pendaison 1542
– strangulation au lien 1548
– strangulation manuelle 1550
– strangulations 1548
assassinats de masse
– Cour Pénale Internationale 1570
– lésions *post mortem* 1571
– méthodologie 1571
autopsies
– autopsie médico-légale ou judiciaire 89, 97, 1693, 1697, 1699, 1703
– autopsies médicales 97
– autopsies sanitaires 98
– dons du corps 98
– législation 97
– législation sociale 98
autopsies judiciaires
– autopsies après thanatopraxie 95
– autopsies médico-légales dans un contexte anthropologique 94
– classification des lésions 91
– incisions 91
– photographies 93
– prélèvements 90, 93
– radiologie 89
– rapport d'autopsie 94, 1703
– synthèse 94
– vêtements 90
avant-bras (fractures) 1387
avortements 1528

**B**

bassin 506
– anatomie 506
– dégagement 510
– détroit inférieur 510
– détroit moyen 510
– détroit supérieur 510
– diamètres obstétricaux 539
– dimorphisme sexuel 521
– engagement 510
– fractures 1391
– grand bassin 510
– indice de Turner 538
– indices 520
– mensurations 513
– petit bassin 510
– point A 506
– présentation 510
Bennett (fracture-luxation de) 1389
botanique médico-légale 1180
– estimation du délai *post mortem* 1182
boxeur (fracture du) 1390
butterfly fracture 1377

**C**

calcanéus (fractures) 1404
capacité endocrânienne 177
– approximation par équations 179
– endocasts réels 179
– endocasts virtuels 179
– jaugeage 179
caractères discrets 161
carbonisation 1421
– absence d'attitude pugilistique 1457
– accident 1475
– activité criminelle 1428, 1454
– ADN 1463
– alimentation en oxygène 1454
– anatomo-pathologie 1463, 1464, 1467
– aspect hélicoïdal 1444
– aspects anthropologiques 1434
– aspects attendus d'une carbonisation 1452
– attitude pugilistique 1432, 1452
– « autocombustion » 1477
– autopsie 1464
– autres brûlures 1425
– bande thermique 1440
– bec de flûte 1446
– bouclier thermique 1453
– brûlures chimiques ou caustiques 1425
– brûlures des tissus mous 1430
– brûlures électriques 1425
– brûlures thermiques 1425
– bulbe d'oignon 1447
– carbonisation « complète » 1451
– carbonisation discrète et partielle 1434
– carbonisation sévère 1451
– carbonisation « totale » 1451
– cause et rapidité du décès 1473
– ceintures scapulaire et pelvienne 1450
– chronologie de la crémation 1432
– classification des brûlures 1425
– CO 1467
– coloration 1436
– combustion humaine « spontanée » 1477
– conduction 1424
– coning 1446
– convection 1424
– crâne 1449
– crématorium 1438
– cyanures 1467
– déformation 1440
– degrés Celsius 1423
– degrés Fahrenheit 1423
– délamination 1446
– démembrement 1471
– dents 1440, 1450, 1457
– diagnostics différentiels 1479

– dissimulation d'un crime 1451
– empreintes digitales 1465
– endroit ouvert 1452
– entropie 1424
– étendue 1430
– examens complémentaires 1463
– expertise incendie 1463
– explosion 1463
– fissurations superficielles 1446
– forme médico-légale du décès 1474
– fracture *péri mortem* 1454
– fractures concentriques 1447
– fractures de la base du crâne 1450, 1456
– fractures en marches d'escalier 1446
– fractures longitudinales 1444
– fractures *péri mortem versus* fractures *post mortem* 1458
– fractures thermiques 1444
– fractures transversales 1446
– fractures transverses arciformes 1446
– gradient d'exposition à la chaleur 1439
– hématome épidural 1450
– hématome sous-dural 1450
– homicide 1475
– identification 1464
– immolation 1474
– incendie 1421, 1422
– le Fort 1456
– levée de corps 1426, 1431
– ligne thermique 1440
– matériaux dentaires 1457
– membres 1450
– microscope électronique à balayage 1460
– microscopie 1460
– os 1436
– os calciné 1439
– os carbonisé 1440
– os sec 1469
– os vert 1469
– parties dures 1436
– parties molles et phanères 1434
– *péri mortem* 1449, 1467
– poids de l'os brûlé 1444
– position du corps lors de l'incinération 1472
– *post mortem* 1467
– problèmes médico-légaux 1427, 1464
– profondeur 1430
– pseudo-hématome extra-dural 1449
– radiation 1424
– radiographie 1463
– radiologie corps entier 1464
– règle des neufs 1426, 1430
– respiration dans le foyer d'incendie 1467
– rétraction 1442
– schéma général de l'altération thermique 1454
– schémas inattendus de la carbonisation 1454
– suicide 1477
– sujet vivant dans le foyer d'incendie 1467
– tableau simplifié des couleurs 1438
– taches de sang 1463
– techniques anthropologiques 1465
– thermodynamique 1424
– thorax 1450
– toxicologie 1463, 1465, 1472
– traumatisme contondant *péri mortem* 1449
– variations 1452
– vêtement 1452, 1472

carpe
– âge 476
– fractures 1388
– latéralisation 455
– os capitatum 455
– os hamatum 455
– os lunatum 450
– os pisiforme 450
– os scaphoïde 450
– os trapèze 450
– os trapézoïde 450
– os triquétrum 450
– rangée distale du carpe 450
– rangée proximale du carpe 450

cartilage cricoïde 833
cartilage épiglottique 834
cartilages aryténoïdes 834
cartilage thyroïde
– corne inférieure 832
– corne supérieure 832
– lames quadrilatères 832

catastrophes de masse 1568
cavité nasale 200
– ouverture piriforme 201

cavités orbitaires 202
ceinture pelvienne 1391
– fractures interrompant la continuité de l'anneau pelvien 1391
– fractures n'interrompant pas la continuité de l'anneau pelvien 1391

ceinture scapulaire 1382
cheiloscopie 1100
cheville (fractures) 1402
cisaillement 1378
clavicule 334, 1382
– âge 341
– dimorphisme sexuel 339
– extrémité latérale 349
– extrémité médiale 343
– fractures 1274, 1382
– mensurations 338
– origine géographique 341
– stature 341

coccyx 763
– âge 770

Code Pénal français 1673, 1690
– abandon de famille 1682
– accidents ayant entraîné une ITT de plus ou moins de trois mois 1679
– agressions sexuelles 1680
– agressions sexuelles autres que le viol 1681
– assassinat 1675
– atteintes à la dignité de la personne 1683
– atteintes à la personnalité 1684
– atteintes à la représentation de la personne 1684
– atteintes à l'autorité parentale 1682
– atteintes à la vie 1675
– atteintes à la vie privée 1684
– atteintes à l'intégrité de la personne 1676
– atteintes à l'intégrité du cadavre 1683
– atteintes au respect dû aux morts 1683
– atteintes au secret professionnel 1684
– atteintes aux mineurs et à la famille 1681
– atteintes involontaires à la personne 1679

– atteintes involontaires à la vie 1675
– atteintes volontaires 1676
– atteintes volontaires à la vie 1675
– attouchements 1681
– bizutage 1683
– conditions de travail et d'hébergement contraires à la dignité de la personne 1683
– crimes contre l'humanité 1683
– délaissement de mineur 1681
– délaissement d'une personne hors d'état de se protéger 1678
– dénonciation calomnieuse 1684
– dérogations facultatives 1688
– dérogations légales au secret professionnel 1685
– dérogations obligatoires 1686
– diffusion d'images de mineur à caractère pornographique 1682
– discriminations 1683
– empoisonnement 1675
– enlèvement et séquestration 1678
– entrave aux mesures d'assistance 1679
– étude génétique 1684
– exhibition sexuelle 1681
– expérimentation sur la personne humaine 1683
– expertises pénales 1690
– fichiers ou traitements informatiques 1684
– génocide 1684
– harcèlement sexuel 1681
– homicide involontaire 1675
– homicide volontaire 1675
– identification par empreintes génétiques 1684
– infractions sexuelles sur mineurs commises à l'étranger par un Français ou une personne résidant habituellement sur le territoire français 1683
– interruption volontaire de grossesse 1684
– irresponsabilisation pénale 1674
– le secret professionnel dans diverses situations 1690
– majeur non vulnérable 1688
– majeur vulnérable 1688
– médecin traitant 1690
– message à caractère violent ou pornographique 1682
– meurtre 1675
– mineur âgé de plus de 15 ans 1682
– mineurs 1688
– mise en danger de la personne 1679
– mutilation ou infirmité permanente 1676
– omission de porter secours 1679
– péril imminent 1679
– personne de confiance 1690
– prescriptions 1673
– privation de soins ou d'aliments 1682
– profanation 1683
– provocation à l'abandon 1682
– provocation au suicide 1684
– provoquer directement un mineur à commettre habituellement des crimes et délits 1682
– proxénétisme 1683
– récidive 1674
– réquisitions 1690
– risques causés à autrui 1679
– secret professionnel 1685
– soustraction d'un mineur 1682
– substitution volontaire 1682
– tortures ou actes de barbarie 1676
– trafic de stupéfiants 1684
– viol 1680
– violences ayant entraîné la mort sans l'intention de la donner 1676
– violences ayant entraîné une incapacité totale de travail de plus de huit jours 1677
– violences ayant entraîné une incapacité totale de travail inférieure ou égale à huit jours ou n'ayant entraîné aucune incapacité de travail 1677
– violences habituelles sur un mineur de 15 ans ou sur une personne particulièrement vulnérable 1678
– violences sexuelles sur mineur de 15 ans 1682

Commission de Conciliation et d'Indemnisation des accidents médicaux (CCI) 1691
comparaison d'images 1149
– méthode qualitative 1150
– problèmes techniques 1150
comparaisons diverses
– matériel d'ostéosynthèse 1122
– tatouages 1122
comparaisons génétiques 1106
comparaisons odontologiques 1093
– cheiloscopie 1100
– malformations congénitales 1104
– morsures 1104
– rugoscopie 1102
– tori 1104
comparaisons radiologiques 1082
– autres comparaisons crâniennes en dehors du sinus frontal 1087
– comparaison des travées osseuses 1088
– crâne 1082
– critères retenus pour affirmer l'identité positive (absolue) 1085
– exclusion d'identité 1088
– localisations anatomiques utilisées 1082
– régions anatomiques extra-crâniennes 1087
– sinus frontal 1082
compression
– compression axiale 1378
– diastasis 1352
– diastatique 1352
– ecchymoses 1328
compression du crâne 1350
continuum entre lésions tranchantes et lésions contondantes 1356
contondant 1326
– bridging 1331
– contusions 1328
– dermabrasions 1330
– ecchymose 1328
– ecchymoses osseuses 1331
– écrasements 1330
– érosion 1330
– érosion superficielle linéaire ou arciforme 1330
– érythème 1330
– excoriation 1330
– fractures 1332
– hématome 1329
– luxations 1334
– plaie contuse 1330
– tissus mous 1328
contondant pur 1323
cordon ombilical 1525, 1528
cornet nasal inférieur 199
– ossification 200

côtes
– âge 790
– cage thoracique 781
– caractères anatomiques particuliers 777
– cartilages costaux 779
– col 775
– corps 776
– courbures 773
– description 773
– deuxième côte 779
– dimorphisme sexuel 789
– douzième côte 779
– estimation de l'âge à partir du plastron sterno-costal 801
– extrémité antérieure de la côte 794
– fractures 1411
– fusion 791
– latéralisation 785
– longueur des côtes 793
– mensurations 783
– méthode d'İşcan 795
– muscles expirateurs 782
– muscles inspirateurs 781
– onzième côte 779
– origine géographique 801
– ossification progressive des cartilages costaux 794
– points d'ossification 790
– positionnement de haut en bas 787
– première côte 777
– quatrième côte droite 795
– signe du soulèvement postérieur 787
– sillon costal 777
– tête 774
– tubercule costal 776
– variations 782
– volets thoraciques 1411
cotyle (acétabulum, fracture du) 1392
coude (fractures du) 1386
coupant (mécanisme) 1317
Cour Pénale Internationale 11
coxal
– acétabulum 507, 582
– âge 554
– arc composé 524
– arc ventral 524
– crête iliaque 509, 557
– dimorphisme sexuel 521
– foramen obturé 509
– fusion 555
– grande incisure ischiatique 517, 546
– ilium 507
– indice cotylo-sciatique 544
– indice ischio-pubien 540
– indices 520
– ischium 509
– largeur cotylo-sciatique 518
– latéralisation 510
– mensurations 515
– méthode d'Acsádi et Nemeskéri 568
– méthode de Lovejoy 580
– méthode DSP 550
– origine géographique 585
– point A 506
– points d'ossification 554
– surface auriculaire 509, 580
– symphyse pubienne 563
crâne (fractures) 1335

## D

datation de la mort 63
– biochimie 76
– cas particuliers 71
– corps frais 64
– corps putréfié 69
– corps squelettisé 69
– données de l'enquête 79
– excitabilité *post mortem* des muscles 76
– pharmaco-ophtalmologie 76
datation des blessures 75
décès collectifs 1567
– organisation 1567
décoloration des berges 1207, 1210
déformations du crâne
– déformations ethniques intentionnelles 164
– déformations pathologiques 163
– déformations physiologiques 163
– déformations *post mortem* 165
dentinogenèse imparfaite 1503
dents 840
– âge 859
– alvéole 845
– alvéolyse 871
– anatomie dentaire 843
– canal pulpaire 846
– cément 845, 846
– chronologie d'éruption 864
– chutes dentaires 862
– collet 844
– colorations 875
– couronne 844
– délai *post mortem* 877
– Demirjian 861
– dent conoïde 875
– dent incluse 876
– dentine 845, 846
– dentition 843
– dents roses 877, 1414
– denture 843
– détérioration dentaire 866
– diagnostic d'espèce 854
– dimorphisme sexuel 855
– émail 845, 846
– embryologie 843
– en grain de riz 875
– éruptions 862
– germes dentaires 861
– incisives en pelle 872
– ligament alvéolo-dentaire 845
– méthode de Drusini 869
– méthode de Gustafson 867
– méthode de Lamendin 868
– méthode des anneaux du cément 870
– minéralisation dentaire 859
– origine géograghique 872
– particularités dentaires 873
– périodonte 846
– professions 874
– racémisation des acides aminés 871
– racine 844
– schémas de Schour et Massler 862
– traumatismes bucco-dentaires 1412

– tubercule de Carabelli 872
– usure dentaire 870
dents définitives
– canines 849
– incisives 849
– molaires 850
– prémolaires 849
dents lactéales 847
– canines 849
– incisives 848
– molaires 849
dépeçages et démembrements 1575
– âge 1582
– anthropologie des parties molles 1581
– anthropologie lésionnelle 1594
– avoyage de la denture 1585
– avoyage ondulé 1585
– avoyage par groupe 1585
– avoyage toutes dents ou alterné 1585
– caractéristiques individuelles 1593
– cause de la mort 1595
– classes 1583
– classification des scies 1584
– combinaison des deux types de traces 1593
– coup de scie actif 1591
– coup de scie passif 1591
– coupe complète 1587
– couteau 1578
– démembrement 1575
– dépeçage avec cannibalisme 1596
– dépeçage défensif 1575, 1596
– dépeçage offensif 1575, 1596
– dérive de coupe 1589
– dérive de la lame 1588
– différenciation entre scie à main et scie électrique 1592
– éléments uniques 1583
– éperon terminal 1587
– faux départ 1587
– forme du fond du faux départ 1588
– groupe biologique 1582
– hachette 1578
– identification 1593
– identification comparative 1582
– identification positive (absolue) de l'instrument 1583
– îlots osseux 1589
– impression 1593
– instruments 1578
– lésions élémentaires laissées par les scies 1588
– modus operandi 1595
– murs au fond du faux départ 1588
– nombre de dents par pouce 1585
– oscillations harmoniques 1589
– particularités 1582
– pointes par pouce 1585
– psychologie des dépeceurs 1595
– radiologie 1581
– résidus de coupes 1592
– résidus de graisse 1593
– résidus de métal 1593
– résidus de peinture 1593
– saut de dent 1589
– scies 1578, 1583
– scies à main 1584
– scies à refendre 1585
– scies à table 1587
– scies à tronçonner 1585
– scies circulaires 1587
– scies électriques 1584, 1586
– scies électroportatives 1586
– scies universelles 1586
– sens de progression de la coupe 1591
– serial killers 1595
– sexe 1581
– sous-classes 1583
– stature 1581
– stries 1589
– stries de retrait 1589
– techniques spécialisées 1582
– toxicologie 1581
– traces d'abrasion 1593
– traces directes laissées par les dents 1589
– voie ferrée 1576
diagnostic de la mort 61
– causes (médicales) de la mort 62
– formes médico-légales de la mort 62
– mort à cœur arrêté 61
– mort apparente 62
– mort cérébrale 61
– mort hypothermique 62
diatomées
– diatomées centriques 1176
– diatomées pennées 1176
– faux négatifs 1178
– faux positifs 1178
dispersion 1343
docimasies 1523
dystocies 1530


## E


ecchymose osseuse 1331
empreintes digitales 1070
– approche holistique 1076
– arcs 1072
– boucles 1072
– classement décadactylaire 1074
– classement des empreintes digitales 1074
– classement monodactylaire 1075
– classement nominal 1076
– composite 1072
– empreintes digitales et ADN 1080
– empreintes digitales sur la peau de la victime 1080
– ligne delto-centrique de Galton 1073
– morphologies observables 1072
– relèvement (empreinte patente) 1077
– relèvement et révélation des empreintes digitales 1077
– révélation (empreinte latente) 1079
– verticilles 1072
empreintes palmo-plantaires 1077
entomologie médico-légale 1160
– autres utilisations de l'entomologie médico-légale 1169
– conceptions modernes 1164
– données climatiques 1169
– escouades classiques 1163
– facteurs de variations 1166
– hémimétaboles 1162
– homométaboles 1162
– insectes 1162
escouades entomologiques 1665
– conception classique 1665
estimation de l'âge chez l'adulte 1021

examens complémentaires utiles en anthropologie médico-légale 1160
expertises civiles ou administratives 1691
explosions 1560
– air blast 1561
– blast auriculaire 1562
– blast digestif 1562
– blast pulmonaire 1562
– brûlures 1560
– causes du décès 1562, 1564
– distance des victimes par rapport au centre de l'explosion 1564
– effet de souffle 1561
– effondrement 1563
– embolie gazeuse 1563
– expertise en explosifs 1564
– ground shock 1561
– hémorragies pulmonaires 1563
– identification 1564
– immersion blast 1565
– intoxications 1563
– lésions 1560
– lésions traumatiques 1563
– missiles secondaires 1563
– morcellement des corps 1560
– nombre de victimes 1563
– œdème pulmonaire 1563
– onde de choc 1561
– solid blast 1565

## F

fabellas 724
face (fractures) 1364
fémur 595, 1393
– âge 614
– angle de déclinaison 605
– angle de divergence 605
– angle d'inclinaison 605
– col fémoral 597
– condyles 598
– crête fessière 598
– crête subtrochantérique 598
– diamètres de la tête fémorale 605
– diamètres sous-trochantériens 604
– dimensions 616
– dimorphisme sexuel 606
– distances trochantériennes 604
– évolution radiologique du fémur proximal 622
– facette de Poirier 598
– formules de Trotter et Gleser 630
– fosse d'Allen 598
– fosse subtrochantérique 598
– fractures 1393
– fusion 616
– grand trochanter 597
– indice de platymérie 604
– indice pilastrique 602
– largeur maximum de l'épiphyse inférieure 605
– latéralité 598
– ligne âpre 595
– longueur en position 602
– longueur maximum 602
– longueur oblique 602
– mensurations 602
– origine géographique 624
– petit trochanter 597
– plaque osseuse 598
– point de Béclard 615
– point épiphysaire inférieur 615
– points d'ossification 614
– stature 630
– tête fémorale 597
– troisième trochanter 598
– variations 598
fibula
– âge 663
– description 661
– dimorphisme sexuel 663
– fosse malléolaire latérale 661
– fractures 1400
– fractures malléolaires 1402
– fusion 671
– latéralité 663
– longueur des os 668
– malléole latérale 661
– mensurations 663
– points d'ossification 663
– stature 671
foramens 1611
foramens nourriciers 374
foramens, ouvertures et contenus de la tête osseuse 1611
foramens pariétaux géants 1199
formes et variantes du crâne 1609
– brachycéphale 1609
– chignon occipital 1610
– dolichocéphale 1609
– mésocéphale 1609
– reconstruction faciale 1610
– suture métopique 1610
– torus supra-orbitaire 1609
fosse infra-temporale 202
fosse ptérygo-palatine 204
fractures 1332
– classifications 1332
– Salter-Harris 1381
fractures alvéolo-dentaires 1371
fractures centro-faciales 1372
fractures costales 1411
– maltraitance 1492, 1494
– volets thoraciques 1411, 1412
fractures crâniennes 1335
– compression 1350
– dispersion 1343
– indentation 1338
– maltraitance 1494
fractures de la base du crâne 1351, 1362
fractures de l'acétabulum 1392
fractures de la cheville 1402
fractures de la clavicule 1382
fractures de la main 1388
– fractures des métacarpiens 1389
– fractures des phalanges 1390
– fractures du boxeur 1390
– fractures du carpe 1388
– fractures du scaphoïde 1388
– fractures du trapèze 1389
– fractures-luxations de Bennett 1389
fractures de la scapula 1382
fractures de la voûte du crâne 1362
fractures de Le Fort 1369

fractures de l'humérus 1383
fractures de l'ulna 1386
fractures dentaires 1412
fractures des ceintures et des membres 1381
fractures des métacarpiens 1389
fractures des os longs 1376
– classifications 1380
– mécanismes 1376
fractures des os nasaux 1372
fractures des phalanges 1390
fractures des sinus frontaux 1373
fractures des vertèbres 1406
fractures diaphysaires de jambe 1400
fractures du bassin 1391
fractures du complexe naso-ethmoïdo-fronto-orbitaire 1373
fractures du coude 1386
fractures du fémur 1393
– fracture du col 1396
– fractures basicervicales 1396
– fractures de la diaphyse fémorale 1397
– fractures de la tête fémorale 1396
– fractures de l'extrémité supérieure du fémur 1393
– fractures intertrochantériennes 1396
– fractures isolées du grand et du petit trochanter 1397
– fractures sous-trochantériennes 1397
fractures du genou 1398
– fractures de la rotule (patella) 1398
– fractures des condyles fémoraux 1398
– fractures du plateau tibial 1399
– fractures supracondyliennes du fémur 1398
fractures du pied 1403
– fractures de la partie moyenne du pied 1405
– fractures des métatarsiens 1405
– fractures des phalanges 1406
– fractures du calcanéus 1404
– fractures du talus 1403
fractures du pilon tibial 1402
fractures du plateau tibial 1399
fractures du poignet 1387
fractures du radius 1386
fractures et lésions rachidiennes 1406
fractures et lésions vertébrales 1406
– burst fracture 1410
– compression 1408, 1409
– fractures de l'atlas 1407
– fractures de l'axis 1407
– fractures-luxations 1410
– hyperextension 1408, 1409
– hyperflexion 1408, 1409
– lésions du rachis cervical inférieur 1407
– lesions du rachis cervical supérieur 1406
– lésions du rachis dorso-lombaire 1409
– luxations 1406, 1410
– rotation 1409
fractures faciales 1364
fractures faciales étendues et complexes 1375
fractures humérales 1383
fractures latéro-faciales 1374
fractures mandibulaires 1366
fractures maxillaires 1368
fractures orbitaires 1374
fractures par contrecoup 1346
fractures sacrées 1411
fractures sternales 1411
fractures zygomatiques 1374

## G

genou (fractures) 1398

## H

hinge fractures 1363
humérus 374
– âge 387
– dimorphisme sexuel 384
– foramens nourriciers 374
– fractures 1383
– fusion 393
– latéralité 377
– mensurations 381
– origine géographique 398
– ossification 392
– perforation olécrânienne 381
– processus supra-condylien 381
– stature 398
– variations 381
– «V» deltoïdien 377

## I

identification 12
– identification comparative 15, 99, 1070
– identification reconstructive 15, 99, 101
– identification spécialisée 15, 99, 1133
– qualités de l'identification 13
– stratégies d'identification 14
identification comparative 1070
identification comparative dentaire 1093
identification reconstructive 101
identification spécialisée crânio-faciale 1133
– comparaison d'images 1149
– mécanismes de reconnaissance des visages 1152
– reconstruction faciale 1138
– restauration faciale 1136
– superposition faciale 1133
indentation 1338

## J

juvéniles
– évolution de la mandibule 280
– évolution de l'os ethmoïde 270
– évolution de l'os frontal 257
– évolution de l'os lacrymal 273
– évolution de l'os maxillaire 276
– évolution de l'os occipital 260
– évolution de l'os palatin 278
– évolution de l'os pariétal 259
– évolution de l'os sphénoïde 268
– évolution de l'os temporal 263
– évolution de l'os zygomatique 274
– évolution des os nasaux 271
– évolution du cornet inférieur 272
– évolution du vomer 274
– fontanelles 254, 990
– proportions crânio-faciales chez l'enfant 254
– subadultes 254
– sutures et synchondroses 254
– synchondrose sphéno-basilaire 1007
– synchondrose sphéno-occipitale 1007

## K

keyhole 1270
kneeling 927

## L

lacunes 1195
larynx 832
– âge 837
– cartilage cricoïde 833
– cartilage épiglottique 834
– cartilages aryténoïdes 834
– cartilages corniculés 834
– cartilages cunéiformes 834
– cartilages inconstants 834
– cartilage thyroïde 832
– développement précoce 837
– muscles du larynx 836
– ossification 837
le médecin mis en cause 1692
le médecin témoin 1692
lésions complexes 1486
– asphyxies mécaniques 1538
– décès collectifs 1567
– dépeçages et démembrements 1575
– explosions 1560
– maltraitance envers les enfants 1486
– meurtre ou assassinat du nouveau-né ou du nourrisson 1511
lésions crâniennes 1335
– avulsion 1342
– base du crâne 1362
– complications 1376
– compression 1350
– contrecoup encéphalique 1376
– déformation plastique 1335, 1350
– dispersion 1343
– dureté et résistance de l'os 1365
– embarrure complète 1339
– érosion 1340
– forme 1340
– fracture par contrecoup 1346
– fractures 1335, 1343
– fractures concentriques 1350
– fractures longitudinales 1362
– fractures maxillaires 1368
– fractures radiaires 1345
– fractures transverses 1362
– hématome extra-dural 1376
– hématomes intracérébraux 1376
– hématome sous-dural 1376
– hémorragies sous-arachnoïdiennes 1376
– hinge fractures 1363
– lésion «en forme» 1340
– lésions cortico-sous-corticales 1376
– localisation des fractures crâniennes 1362
– pénétration 1341
– perforation 1341
– point d'impact 1335
– ring fractures 1363
– ruptures axonales diffuses 1376
– sévérité lésionnelle 1353
– voûte du crâne 1362
lésions de défense active 1319
lésions de défense passive 1320
lésions des vertèbres 1406
lésions élémentaires
– armes à feu 1225
– brûlures et carbonisations 1421
– lésions contondantes 1326
– lésions tranchantes 1308, 1313
– lésions tranchantes-contondantes 1315, 1323
lésions *post mortem*
– de l'os vert à l'os sec 1206
lésions tranchantes 1308
– coupantes 1308
– piquantes 1308
– tranchantes contondantes 1308
les quatre fondamentaux de l'identification reconstructive: synthèse 931
levée de corps
– déplacement sur les lieux 84
– environnement 85
– examen du corps 86
– gel des lieux 84
– inhumation en cercueil 88
– inhumation en terre 88
– prélèvements 86
– prélèvements non osseux 88
– vêtements 86
levée de squelette 3
– levée de squelette «archéologique» 87
lividités 34
luxations de hanche 1393
luxations de l'épaule 1383
luxations des doigts 1390

## M

mains 448
– âge 499
– anatomie 449
– dimorphisme sexuel 499
– fractures 1388
– fractures du boxeur 1390
– fractures-luxations de Bennett 1389
malléoles (fractures) 1402
maltraitance
– accouchement 1501
– agresseurs 1487
– angulations 1496
– aspect «en barreaux d'échelle» 1503
– aspects lésionnels 1491
– aspects médico-légaux 1498
– autres localisations 1496
– autres pathologies congénitales 1505
– avant-bras 1493
– cals exubérants 1496
– cals vicieux 1496
– canne de bambou 1503
– caractère multiple et d'âges différents 1494
– caractères des fractures du crâne 1495
– ceinture scapulaire 1496
– contusions 1494
– côtes 1494
– courbure anormale 1503
– crâne 1494
– datation des fractures 1497
– dentinogenèse imparfaite 1503, 1504
– diagnostic différentiel de la maltraitance 1500
– diagnostic positif de maltraitance 1498

– enfant prématuré 1501
– enfants battus 1486
– fémur 1493
– fibula 1493
– formes cliniques 1504
– fracture de toddler 1501
– fracture en anse de seau 1492
– fracture en coin 1492
– fractures crâniennes 1494
– fractures de côtes 1492
– fractures du crâne 1492
– fractures métaphysaires des os longs 1492
– fragilités osseuses constitutionnelles ou acquises 1502
– hémorragies 1494
– hémorragies rétiniennes 1495
– hémorragies sous-périostées 1493
– humérus 1493
– iceberg 1486
– impacts directs 1489
– indirect (mécanisme) 1489
– lésions cachées 1491
– lésions d'âges différents 1491
– lésions diaphysaires 1493
– lésions épiphysaires 1493
– lésions inexpliquées 1491
– lésions mal consolidées 1491
– lésions métaphysaires 1490, 1492
– lésions multiples 1491
– lésions non osseuses 1487
– lésions osseuses 1488
– lésions physiques 1488
– lésions sexuelles 1488
– localisation des fractures 1492
– localisation postérieure (fractures de côtes) 1494
– localisations anatomiques 1493
– localisations des lésions 1489
– luxations métaphyso-épiphysaires 1493
– maladies congénitales 1502
– maltraitance ou accident 1500
– mauvaise évolution des fractures 1496
– mécanisme indirect 1489
– mutation 1504
– néoformations osseuses périostées 1492
– œdème 1494
– os longs 1492
– ostéogenèse imparfaite 1502
– ostéopénie 1503
– popcorn 1503
– rachis 1496
– rachitisme 1502
– réactions périostées 1502
– retards ou interruptions de croissance 1496
– rotations 1496
– sclérotiques bleues 1503
– séquelles neurologiques et psychiatriques 1494
– sévices 1486
– signe de l'évitement 1499
– signe du retrait 1499
– signes psychologiques 1488
– tassements vertébraux 1503
– tentatives de réanimation 1501
– tibia 1493
– variantes anatomiques (radiologiques) 1502
– victimes 1487

maltraitance envers les enfants 1486

mandibule
– branches de la mandibule 214
– corps de la mandibule 214
– dimorphisme sexuel 249
– fractures 1366
– mensurations 216
– ossification 216

maxillaire (fractures du) 1368

mécanismes
– angulation 1378
– cisaillement 1378
– compression 1376
– contrainte axiale 1378
– fracture en aile de papillon 1377
– rotation 1379
– tension 1376
– traction axiale 1378
– traumatisme « direct » 1379, 1489
– traumatisme « indirect » 1379, 1489

mécanismes lésionnels 1356

membranes hyalines 1524

membres inférieurs 1393

membres supérieurs 1383

métacarpe
– âge 488
– caractères communs 476
– confusions 480
– différenciation des cinq métacarpiens entre eux 479
– fractures 1389
– fractures du boxeur 1390
– fractures-luxations de Bennett 1389
– latéralité 480

métatarse
– diagnostic du rayon 701
– fractures 1405
– latéralisation 702
– mensurations 708

« méthode complexe » d'estimation d'âge 1633

méthodes qualitatives (comparaisons d'images) 1150

méthodes quantitatives (comparaisons d'images) 1150

meurtre ou assassinat du nouveau-né ou du nourrisson 1511
– absence totale de méconium 1526
– accouchement précipité 1532, 1535
– action ou omission volontaire 1532
– aération colique 1526
– aération gastrique 1526
– aération grêlique 1526
– âge gestationnel 1514
– apport hydrique 1536
– avortements 1528
– avortements provoqués 1529
– avortements spontanés 1528
– carbonisation 1536
– causes de la mort du nouveau-né 1526
– chute accidentelle sur la tête 1535
– combien de temps l'enfant a-t-il vécu 1525
– compression thoraco-abdominale 1534
– confinement 1534
– contusions et plaies contuses 1535
– cordon ombilical 1525
– critères de vitalité 1522
– défaut de ligature du cordon 1536
– diagnostic d'accouchement récent 1512
– diagnostic de grossesse récente 1512
– dissimulation du corps 1536

– docimasie auriculaire 1524
– docimasie histologique 1524
– docimasie hydrostatique 1523
– docimasie intestinale 1524
– docimasie macroscopique 1523
– docimasies pulmonaires 1523
– durée de l'accouchement 1512
– dystocies 1530
– dystocies dynamiques 1530
– dystocies osseuses 1530
– éclampsie 1527
– empoisonnement criminel du nouveau-né 1536
– enfouissement ou enlisement 1534
– estimation de l'âge gestationnel 1513
– expertise de la mère 1512
– expertise de l'enfant 1512
– fractures crâniennes 1535
– hématome rétro-placentaire 1528
– hydramnios 1528
– identification 1536
– instruments tranchants 1535
– l'enfant a-t-il vécu ? 1522
– l'enfant est-il né à terme ? 1513
– lésions asphyxiques 1529
– lésions traumatiques 1529
– liquide amniotique 1512
– malformations 1531
– méconium 1512
– membranes hyalines 1524
– môle hydatiforme 1528
– mortalité au cours du travail 1529
– mortalité fœtale in utero 1526
– mort naturelle post-natale 1530
– morts accidentelles 1532
– morts naturelles 1526
– mort subite du nourrisson 1531
– omission de soins 1536
– pathologies du cordon 1528
– présence d'aliments 1524
– présence de corps étrangers 1524
– quel est son âge gestationnel ? 1514
– refroidissement 1536
– signes traumatiques 1524
– souffrance au cours du travail 1530
– strangulation à la main 1533
– strangulation au lien 1534
– submersion 1534
– suffocation faciale 1533
– toxémie gravidique 1527
– vernix caseosa 1512
– viabilité 1522
– violences mortelles 1532
– vitalité 1522
momification 55
morsures
– morsures animales 1104
– morsures d'auto-mutilation 1105
– morsures humaines 1105

**N**

nez (fractures) 1372
nombre minimum de victimes ou d'individus (NMI) 127
– ADN 131
– méthodes d'appariement 128
– NMI de fréquence 129
– NMI par appariements 130
– NMI par exclusions 130

**O**

odontologie 1645
orbite (fractures) 1374
orientations du crâne 131
origine géographique
– Afrique Noire 315
– Asie 315
– crâne 314
– crâniométrie 320
– Europe 315
– mandibule 325
– morphologie 314
– schémas de Giles et Elliot 323, 325
origine géographique, synthèse 1029
os brûlés 1421
os ethmoïde
– labyrinthes ethmoïdaux 153
– lame criblée 151
– lame perpendiculaire 153
– ossification 153
os frontal 140
– ossification 142
os hyoïde
– âge 828
– confusion 823
– corps 821
– développement précoce 828
– dimorphisme sexuel 823
– forme 816
– fusion 829
– grandes cornes 816, 821
– latéralisation 822
– petites cornes 816, 821
– points d'ossification 828
os lacrymal
– ossification 199
os longs
– mécanismes des fractures 1376
os longs (fractures) 1376
os maxillaire
– corps 187
– fractures 1368
– ossification 190
– processus alvéolaire 190
– processus frontal 190
– processus palatin 190
– processus zygomatique 189
os nasal 195
– fractures 1372
– ossification 196
os occipital
– ossification 151
– partie basilaire 151
– parties latérales 151
– partie squameuse 149
os palatin
– lame horizontale 193
– lame perpendiculaire 190
– ossification 193
os pariétal 144
– ossification 146
osselets de l'ouïe

– incus 220
– malleus 220
– stapes 220
os sésamoïdes 498
os sphénoïde
– corps 153
– fosse ptérygoïde 157
– grandes ailes 156
– ossification 157
– petites ailes 156
– processus ptérygoïdes 157
– sinus sphénoïdaux 157
os temporal
– ossification 149
– partie pétreuse 146
– partie squameuse 146
– partie tympanique 149
ostéogenèse imparfaite 920, 1502
ostéons 1172
os wormiens
– maltraitance 1503
– ostéogenèse imparfaite 1503
– os wormiens faux 159
– os wormiens vrais 157
os zygomatique 196
– fractures 196
– ossification 198


## P


particularités, les signes particuliers 882
– accroupissement (squatting) 926
– agenouillement (kneeling) 927
– algoneurodystrophies 897
– amincissement pariétal 923, 1198
– arthrites infectieuses 908
– arthropathies micro-cristallines 901
– arthropathies psoriasiques 900
– arthrose 898
– arthrose de la cheville 899
– arthrose digitale 899
– camptocormie 899
– caractères discrets 882
– chérubisme 922
– chondrocalcinose 902
– connectivites 905
– connectivites mixtes 907
– côté dominant 883
– coxarthrose 898
– dentinogenèse imparfaite 1503
– dermatomyosites et polymyosites 907
– développement musculaire important 884
– dysplasie cléïdo-crânienne 924
– dystrophies et inflammations dentaires 924
– élargissement des foramens pariétaux 923
– évolution dégénérative 899
– gommes syphilitiques 911
– gonarthrose 898
– goutte 901
– histiocytose X 918
– histioprolifération 918
– hyperostose frontale interne 922
– infarctus osseux 920
– leontiasis ossea 924
– lèpre 910
– lésions osseuses pseudotumorales 919
– lupus érythémateux disséminé 906
– lymphome de Burkitt 918
– lymphomes malins hodgkiniens et non hodgkiniens 917
– lymphomes malins non hodgkiniens 918
– lymphoprolifération 917
– maladie de Hodgkin 918
– maladie de Legg-Perthes-Calvé 894
– maladie de Scheuermann 894
– maladies générales pouvant avoir un retentissement sur l'os 920
– malformations dentaires 924
– myélome 917
– myélome multiple 917
– omarthrose 899
– ostéites et ostéomyélites 907
– ostéochondrites disséquantes 895
– ostéochondrodysplasies 921
– ostéochondroses 894
– ostéogenèse imparfaite 920, 1502, 1503
– ostéomalacie 893
– ostéonécrose aseptique 893
– ostéopétrose 921
– ostéoporose 890
– ostéoses endocriniennes 897
– Paget 896
– particularités anatomiques 882
– particularités cultuelles 928
– particularités culturelles 926
– particularités pathologiques 890
– particularités physiologiques 883
– particularités professionnelles 928
– particularités sociales 928
– parturition 885
– pathologies génétiques 920
– pelvispondylite rhumatismale 900
– polyarthrite rhumatoïde 904
– pseudo-tumeurs 926
– rachitisme 893
– rhumatismes à hydroxyapatite 902
– sarcoïdose 896
– sclérodermie 907
– scolioses 902
– sénescence 899
– spondylarthropathies 900
– spondylodiscites à germes banals 908
– sports 927
– stries de Looser-Milkman 893
– syphilis congénitale 913
– tréponématoses et syphilis 911
– tuberculose ostéo-articulaire 909
– tumeurs bénignes 913
– tumeurs diverses 919
– tumeurs malignes primitives 915
– tumeurs malignes secondaires 916
– tumeurs odontogènes 925
– tumeurs primitives non odontogènes 926
– tumeurs secondaires 926
– vascularites systémiques 907
patella 723
– âge 723
– fractures 1398
– latéralité 723
*péri mortem* 1199
– absence de décoloration des berges 1200
– déformation plastique 1202

– fracture « en aile de papillon » 1203
– fracture spiroïde 1203
– fractures survenant sur os vert 1201
– mécanismes élémentaires 1204
– types de fractures 1203
phalanges de la main 488
– âge 498
– confusions avec les phalanges 488
– fractures 1390
– rayon et latéralité des phalanges 490
phalanges du pied 708
– âge 713
pied 1403
– âge 713
– âge, mesures anthropométriques 714
– calcanéus 677
– calcaneus secundarius 678
– cinquième métatarsien 701
– confusion du métatarse 701
– cuboïde 678
– deuxième métatarsien 700
– dimorphisme sexuel 709
– épine calcanéenne 678
– fractures 1403
– fusion 714
– latéralisation du tarse 682
– mensurations du tarse 699
– mesures anthropométriques 714
– métatarse 673, 700
– origine géographique 719
– os cunéiforme intermédiaire 680
– os cunéiforme latéral 680
– os cunéiforme médial 679
– os naviculaire 679
– phalanges 708
– points d'ossification 713
– premier métatarsien 700
– quatrième métatarsien 701
– sésamoïdes 708
– stature 721
– talus 673
– tarse 673
– tarse antérieur 678
– tarse postérieur 673
– troisième métatarsien 701
– tubérosité du cuboïde 679
piliers 1336
– piliers de la base 1338
– piliers de la voûte 1337
pilon tibial (fractures) 1402
piquant (mécanisme) 1320
plateau tibial (fractures) 1399
poids des os 1617
poids du crâne 236
poignet (fractures) 1387
*post mortem*
– activités humaines délinquantielles ou criminelles 1219
– altérations animales 1213
– altérations botaniques 1213
– altérations climatiques 1210
– altérations géologiques 1209
– altérations humaines 1217
– carbonisation 1219
– carnivores 1214
– caustiques 1219
– classification des lésions *post mortem* 1209
– colorations pathologiques 1210
– congélation/décongélation 1212
– culte 1220
– cultuelles 1219
– culturelles 1219
– décoloration 1210
– décoloration des berges d'une fracture 1207
– dépeçage 1219
– dispersion des ossements 1216
– eau 1212
– érosion biologique 1210
– érosion chimique 1209
– érosion mécanique 1209
– exhumation des restes 1217
– fissurations climatiques 1211
– immersion 1212
– lésions autopsiques 1218
– muti murders 1220
– nettoyage 1218
– os sec 1207
– Palo Mayombe 1220
– pluie 1212
– préparation 1218
– rongeurs 1215
– Santeria 1220
– sol 1209
– soleil 1210
– spécimen anatomique 1219
– transport 1218
– trophée 1219
prédation animale 45, 1213
prescription pénale 1673
– ancienneté des ossements ou des restes 112
prognathisme, rétrognathisme 210, 1138
– indice gnathique 210
putréfaction 39


## R


rachis cervical 1406
– entorses et luxations du rachis cervical supérieur 1406
– fractures de l'atlas 1407
– fractures de l'axis 1407
– fractures des condyles occipitaux 1407
– fractures du rachis cervical supérieur 1407
– lésions du rachis cervical inférieur 1407
– lésions en compression 1408
– lésions en flexion-extension-distraction 1408
– lésions en rotation 1409
rachis dorso-lombaire
– burst fractures 1410
– colonnes, antérieure, moyenne et postérieure 1410
– compression axiale 1409
– compressions vertébrales 1410
– fractures-éclatement 1410
– fractures-luxations 1410
– hyperextension 1409
– hyperflexion 1409
– luxations 1410
rachis (fractures) 1406
radius
– âge 418
– dimorphisme sexuel 415
– fractures 1386, 1387
– fusion 418

– latéralisation 409
– mensurations 409
– points d'ossification 418
– processus styloïde du radius 408
– stature 422
– tête du radius 406
– tubérosité du radius 408
recommandation européenne 10
recommandation européenne R99(3)
– le rapport d'autopsie 1703
recommandation européenne R99(3) en matière d'autopsies judiciaires 1693
– indications de l'autopsie 1696
– prélèvements 1699
reconstruction faciale 1138
– analyses préliminaires anthropologiques et odontologiques 1139
– caricatures 1138
– déséquilibres squelettiques 1140
– épaisseur des parties molles 1138
– méthodes bidimensionnelles 1148
– méthodes bidimensionnelles manuelles 1143
– méthodes informatisées 2D et 3D 1147
– méthodes tridimensionnelles 1148
– occlusion 1142
– radiographies céphalométriques 1142
– statut gnathique 1139
– validation scientifique de la reconstruction faciale 1149
refroidissement 38
réplication
– Short Tandem Repeats 1108
– STR 1108
restauration faciale 1136
– dessin 1136
– dessin informatique 1137
– moulage 1136
– photographie 1136
rigidité 36
ring fractures 1363
rotation 1378
rotule (patella) (fractures) 1398

S

sacrum 760
– âge 767
– caractère homobasal 763
– concavité du sacrum 765
– fractures 1411
– fusion 768
– hyperbasal 763
– hypobasal 763
– index sacré 765
– mensurations 765
– origine géographique 770
– ossification 767
– sexe 765
scaphoïde (fractures) 1388
scapula 353, 1382
– âge 365
– dimorphisme sexuel 362
– fractures 1382
– latéralisation 358
– mensurations 360
– origine géographique 371
– variations 356
S de latéralisation 334, 1615
selle turcique 187
sexe
– synthèse 931
signes de la mort 31
– coagulation du sang 38
– déshydratation 38
– desquamation 39
– lividités 34
– refroidissement 38
– rigidité 36
– signes oculaires 38
– signes précoces 32
– signes tardifs 33
– transsudations 38
sinus frontal 202, 1082, 1373
sinus paranasaux
– sinus ethmoïdaux 201
– sinus frontaux 202
– sinus maxillaires 201
– sinus sphénoïdaux 202
« S » osseux 1615
splanchnocrâne 187
squatting 926
squelettisation 59
stature 1623
– fragments 402
– tables américaines de Trotter et Gleser 1623
stature, synthèse 1032
– estimation de la stature à partir de fragments de corps 1054
– estimation de la stature à partir de fragments d'os longs 1042
– estimation de la stature à partir des os longs des membres 1033
– estimation de la stature à partir du crâne 1057
– main et métacarpiens 1055
– mesure de la stature en salle d'autopsie 1033
– méthode de comparaison 1049
– méthode de fragmentation 1042
– méthode de Fully 1040
– méthode de Fully et Pineau 1040
– méthode des proportions 1051
– pied et métatarsiens 1056
– scapula 1055
– tables de Manouvrier 1034
– tables de Rollet 1034
– tables de Trotter et Gleser 1035
sternum
– âge 811
– angle sternal 803
– casque gaulois 814
– centres d'ossification 811
– corps 803
– description 803
– dimorphisme sexuel 806
– foramen 806
– fractures 1411
– fusion 811
– incisure jugulaire 803
– incisures claviculaires 805
– manubrium 803
– mensurations 806
– processus xiphoïde 805
sternum et côtes (fractures) 1411
strontium 1176

superposition faciale
– critères décisionnels 1134
– distorsion 1134
– orientation 1134
sutures crâniennes
– voûte du crâne 159
sutures de la voûte
– degrés de synostose 287
– sutures crâniennes classiques de la voûte 283
– sutures latérales 287
sutures faciales
– sutures fronto-naso-maxillaires 305
– zygomatiques 305
sutures fronto-sphénoïdales 311
sutures palatines 300
symphyse pubienne
– méthode d'Angel 570
– méthode de Gilbert et McKern 571
– méthode de McKern et Stewart 568
– méthode de Meindl 573
– méthode des trois composantes 568
– méthode de Suchey-Brooks 575
– méthode de Todd 563
– méthodes combinées 583
synthèse
– âge 933
– origine géographique 1029
– sexe 931
– stature 1032

## T

talus
– angle de déclinaison 699
– angle de rotation 699
– angle d'inclinaison 699
– fractures 1403
tangentiel 1268
– lésions en sillon 1268
– lésions en terrasse 1269
– lésions semi-lunaires 1268
– trou de serrure 1270
tension axiale 1378
tête et face osseuses 131
– âge 254, 283
– angles 184
– arcs et cordes 184
– chignon occipital 183
– dimorphisme sexuel de la tête osseuse 222
– épaisseur du crâne 183
– indices 174
– mensurations de la face 204
– mensurations du crâne 165
– orbites 209
– ossification 143
– palais 207
– périmètres 184
– poids du crâne 183
– profondeur de l'ensellure pariéto-occipitale 183
– saillie des arcades 183
– saillie des mastoïdes 183
tibia
– âge 648
– angle de divergence 645
– angle de rétroversion 645
– angle d'inclinaison 645
– architectonie 657
– condyles 636
– description 634
– dimensions 650
– dimorphisme sexuel 645
– facettes orientales 636
– fractures 1399
– fractures malléolaires 1402
– fusion 655
– incisure fibulaire 636
– indice cnémique 644
– latéralité 637
– ligne du muscle soléaire 634
– malléole médiale 636
– mensurations 642
– origine géographique 657
– pilon tibial (fractures) 1402
– plateau tibial (fractures) 1399
– points d'ossification 648
– rétroposition 636
– rétroversion 636
– squatting 637
– stature 658
– torsion 636
– tubercule de Gerdy 636
– variations 636
tissu cartilagineux
– articulations non synoviales 25
– articulations synoviales 24
– cartilage élastique 31
– cartilage hyalin 30
– chondrocytes 26
– fibrocartilage 31
– liquide synovial 27
– microcristaux 28
tissu osseux 19
– cartilage de conjugaison 23
– compact 21
– endoste 22
– ossification enchondrale 23
– ossification membraneuse 22
– ostéoblastes 19
– ostéoclastes 20
– ostéocytes 20
– périoste 21
– spongieux 20
– tissu osseux lamellaire 20
– tissu osseux non lamellaire 20
toxicologie et anthropologie 1171
tranchant 1313
– biseautage 1313
– boutonnière 1314
– classification 1317
– coupant 1313, 1317
– couteau denté 1313
– couteaux 1309, 1312
– double tranchant 1310
– lésion en miroir 1317
– lésions d'alignement 1317
– lignes de Langers 1314
– mécanisme tranchant 1313
– microscopie 1323
– piquant 1313, 1320
– simple tranchant 1310
– tranchant contondant 1315, 1323, 1326, 1345

tranchant pur 1309
transcription
– Variable Number of Tandem Repeats 1108
– VNTR 1108
trapèze (fractures) 1389
traumatismes bucco-dentaires 1412
traumatismes « directs » ou « indirects » 1379
Tribunaux Pénaux Internationaux 11
trou de serrure 1270

## U

ulna 424
– âge 438
– centres d'ossification 442
– dimorphisme sexuel 433
– fractures 1386, 1387
– fusion 445
– incisure radiale 426
– incisure trochléaire 426
– latéralisation 427
– mensurations 430
– olécrane 426
– processus coronoïde 426
– processus styloïde ulnaire 426
– stature 446
– tête de l'ulna 426
unités 1671

## V

vertèbres
– âge 747
– arc vertébral 725
– centres d'ossification 747
– centrum 748
– corps vertébral 725
– dimorphisme sexuel 742
– fractures et lésions vertébrales 1406
– fusions 747
– hauteur du rachis 740
– hyperlordoses 742
– lames vertébrales 726
– mensurations 738
– mensurations en fonction de l'âge 754
– origine géographique 756
– processus articulaires 726
– processus épineux 726
– processus transverses 726
– rachis en général 725
– sacrum 760
– stature 757
– vertèbres adultes 754
– vertèbres en général 725
vertèbres cervicales
– atlas 728
– axis 731
– dent de l'axis 731
– foramen vertébral 731
– septième vertèbre cervicale 732
– vertèbre cervicale type 726
– vertèbre proéminente 732
vertèbres lombales 737
– indice lombaire de Cunningham 740
– indice lombaire total 740
– scolioses 740
vertèbres thoraciques 732
– différences entre les vertèbres thoraciques 734
– vertèbre thoracique type 734
volume du crâne 241
vomer 193
– ossification 194

## Z

zones de faiblesse 1336
zones de renforcement 1336
zygomatique (fractures de l'os et de l'arcade) 1374

# *Table des matières*


*Préface* V

*Notes de l'auteur* VII

*Abréviations* IX

*Remerciements* XI

*Dédicaces* XIII

*Réflexions* XV

**Chapitre 1**

*Aspects généraux* 1

**1.1. Introduction générale** 1

**1.1.1. Anthropologie médico-légale** 1
A) Définitions 1
B) « Levée de squelette » 3
C) Mesures à prendre avant la préparation des ossements (phase autopsique) 5
*1) Radiographies* 5
*2) Photographies* 5
*3) Préservation* 5
Des parties non osseuses (prélèvements) 5
Des parties osseuses 6
D) Préparation des ossements (phase anthropologique) 6
E) Anatomie anthropologique 6
F) Les méthodes anthropologiques générales 7
G) La médecine basée sur des preuves 9

**1.1.2. Historique** 10
A) Historique général 10
B) La recommandation européenne nº R (99) 3 10
C) La Cour Pénale Internationale (CPI) 11
D) La coopération internationale lors des grandes catastrophes 12

**1.1.3. Identification du sujet** 12
A) Introduction 12
*1) La perte d'identité* 12
*2) Intérêts à rendre cette identité* 12
*3) Qualités de l'identification* 13
*4) Stratégies d'identification* 14
B) Circonstances de l'identification 14
C) Identification reconstructive 15
D) Identification comparative 15
E) Identification spécialisée 15

**1.1.4. Analyse des lésions** 16

**1.1.5. Conclusion** 16

**1.2. Le tissu osseux et le tissu cartilagineux** 19

**1.2.1. Introduction** 19

**1.2.2. Tissu osseux** 19
A) Constitution 19
*1) Introduction* 19
*2) Les cellules* 19
*3) La matrice* 20
B) Modalités organisationnelles 20
*1) Organisation de base* 20
*2) Os spongieux et os compact* 20
*3) Os longs, os courts, os plats* 21
*4) Périoste et endoste* 21
C) Développement et croissance de l'os 22
D) Réparation d'une fracture 24
E) Hématopoïèse 24

**1.2.3. Tissu cartilagineux** 24
A) Les articulations 24
B) Constitution générale 25
*1) Introduction* 25
*2) Les chondrocytes* 26
*3) La matrice extracellulaire* 26
*4) Le liquide synovial* 27
*5) Nutrition* 28
C) Organisation 30

**1.3. La mort (signes, diagnostic, datation)** 31

**1.3.1. Signes de la mort** 31
A) Introduction 31
B) Signes précoces de la mort 32

*1) Signes neurologiques* 32
*2) Signes respiratoires* 33
*3) Signes cardio-vasculaires* 33
C) Signes tardifs 33
D) Évolution ultérieure du corps 39
*1) Introduction* 39
*2) Putréfaction* 39
Biochimie de la putréfaction 43
*3) Prédation* 45
*4) Adipocire* 46
Délai de survenue de l'adipocire 47
Réactions chimiques conduisant à l'adipocire 47
Composition chimique de l'adipocire dans le corps 48
Recherche de résidus d'adipocire dans le sol 49
Stabilité de l'adipocire 51
Facteurs favorisant et inhibant la formation d'adipocire 52
*5) Momification* 55
*6) Cas particuliers* 58
E) Squelettisation 59
F) Modification ultérieure des ossements 61

**1.3.2. Diagnostic de la mort** 61
A) Diagnostic positif 61
*1) Mort à cœur arrêté récente* 61
*2) Mort à cœur arrêté suffisamment « ancienne »* 61
*3) La mort cérébrale (à cœur battant)* 61
*4) La mort hypothermique* 62
B) Diagnostic différentiel 62
*1) La mort apparente* 62
*2) La mort hypothermique* 62
*3) Les autres diagnostics différentiels* 62
C) Diagnostic étiologique 62
*1) Les causes (médicales) de la mort* 62
*2) La forme médico-légale de la mort* 62

**1.3.3. Datation de la mort** 63
A) Introduction 63
B) Le corps 64
*1) Le corps frais* 64
Examen externe 64
Autopsie 67
*2) Le corps putréfié* 69
*3) Le corps squelettisé* 69
*4) Les cas particuliers* 71
C) Examens complémentaires 72
*1) Anatomo-pathologie* 72
L'autolyse 72
La putréfaction 73
Artéfacts dus à l'autolyse et à la putréfaction 73
Datation des blessures 75
*2) Biochimie* 75
*3) Pharmaco-ophtalmologie* 76
*4) Excitabilité* post mortem *des muscles* 76
Excitabilité mécanique 76
Excitabilité électrique 76
*5) Biochimie* 76
Sang 76
Corps vitré 77
Liquide céphalo-rachidien 78
Liquide péricardique 79
Enzymes musculaires 79
Coagulation 79
Vitalité des spermatozoïdes 79
D) Autres éléments 79

**1.4. Déplacement sur les lieux (« levée de corps » et « levée de squelette ») et autopsies** 84

**1.4.1. Déplacement sur les lieux** 84
A) Levée de corps classique 84
B) « Levée de squelette » 87

**1.4.2. Les autopsies** 89
A) Les autopsies médico-légales ou judiciaires 89
*1) L'autopsie médico-légale classique* 89
Introduction 89
Les examens précédant l'autopsie 89
Nouvel examen du corps avant ouverture 90
Autopsie proprement dite 91
Photographies 93
Prélèvements 93
Le rapport d'autopsie 94
Synthèse 94
*2) Les autopsies médico-légales dans un contexte anthropologique* 94
*3) Un cas particulier : les autopsies après thanatopraxie* 95
Introduction 95
Les méthodes thanatopraxiques 95
Conséquences pour le médecin légiste 96
B. Législation des différents types d'autopsies ou prélèvements 97

## Chapitre 2
## *Identification du disparu* 99

**2.1. Introduction** 99

**2.2. Identification reconstructive** 101

**2.2.1. Phase autopsique** 101
A) La phase descriptive 101
*1) Le corps* 101
*2) Les vêtements ou résidus de vêtements* 101
*3) Les bijoux et objets personnels* 102
B) La phase radiologique 102
C) L'autopsie 102
D) Les prélèvements 102

**2.2.2. La phase anthropologique proprement dite** 102
A) Questions préliminaires 104
*1) Animal, humain … ou d'autre nature ?* 104
Introduction 104
Macroscopie 105
Indice cortico-médullaire 106
Rocher humain ou animal 106
Radiologie 107
Immunologie 108
Histologie 108
Biologie moléculaire 110
*2) Ancienneté des ossements ou des restes* 112
Squelettisation 113
Dégradation ultérieure de l'os 114
Diagnostic d'ancienneté 114
Les vêtements et autres items à proximité du corps 118

Détérioration des cheveux 121
L'environnement 123
Les données de l'enquête 124
*3) Nombre minimum de victimes* 127
Introduction 127
Méthodes d'appariement 128
Vêtements 129
Radiologie 129
Doublons anatomiques : le NMI de fréquence 129
NMI par appariements 130
NMI par exclusions 130
ADN 131
B) Questions centrales 131
*1) Tête et face osseuses* 131
Introduction 131
Orientations du crâne 131
Dimorphisme sexuel de la tête osseuse 222
Âge 254
Origine géographique 314
*2) Clavicule* 334
Description 334
Variations 338
Mensurations 338
Dimorphisme sexuel 339
Origine géographique 341
Stature 341
Âge 341
*3) Scapula* 353
Description 353
Mensurations 360
Stature 362
Dimorphisme sexuel 362
Âge 365
Origine géographique 371
*4) Humérus* 374
Description 374
Mensurations 381
Dimorphisme sexuel 384
Âge 387
Origine géographique 398
Stature 398
Estimation de la stature à partir de fragments d'humérus 402
*5) Radius* 406
Description 406
Mensurations 409
Dimorphisme sexuel 415
Âge 418
Origine géographique 422
Stature 422
*6) Ulna* 424
Description 424
Mensurations 430
Dimorphisme sexuel 433
Âge 438
Origine géographique 445
Stature 446
*7) Mains* 448
Description 449
Latéralisation 455
Âge du carpe 476
Os métacarpiens 476
Phalanges 488
Os sésamoïdes 498
Âge estimé à partir des os de la main 499
Dimorphisme sexuel 499
*8) Bassin* 506
Description 506
Mensurations 513
Indices 520
Dimorphisme sexuel 521
Âge 554
Origine géographique 585
*9) Fémur* 595
Description 595
Variations 598
Confusion 598
Latéralité 598
Mensurations 602
Dimorphisme sexuel 606
Âge 614
Origine géographique 624
Stature 630
*10) Tibia* 634
Description 634
Variations 636
Confusion 637
Latéralité 637
Mensurations 642
Dimorphisme sexuel 645
Âge 648
Origine géographique 657
Stature 658
*11) Fibula* 661
Description 661
Dimorphisme sexuel 663
Âge 663
Stature 671
*12) Pieds* 673
Description 673
Confusion et latéralisation du tarse 682
Mensurations du tarse 699
Métatarse 700
Dimorphisme sexuel 709
Âge 713
Origine géographique 719
Stature 721
*13) Patella* 723
Anatomie 723
Latéralité 723
Âge 723
Sexe, stature, groupe biologique 724
Fabellas 724
*14) Vertèbres* 725
Description 725
Mensurations 738
Dimorphisme sexuel 742
Âge 747
Origine géographique 756
Stature 757
*15) Sacrum et coccyx* 760
Anatomie du sacrum 760
Anatomie du coccyx 763
Confusion 763
Variations 763
Mensurations 765
Sexe 765
Âge du sacrum 767
Âge du coccyx 770
Origine géographique 770
*16) Côtes* 773
Description 773

La cage thoracique 781
Variations 782
Mensurations 783
Confusion 785
Latéralisation et positionnement 785
Dimorphisme sexuel 789
Âge 790
Origine géographique 801
*17) Sternum* 803
Description 803
Variations 806
Mensurations 806
Dimorphisme sexuel 806
Âge 811
Origine géographique, stature 814
*18) Os hyoïde et larynx* 816
Os hyoïde 816
Larynx 832
*19) Dents* 840
Introduction 840
Embryologie 843
Anatomie dentaire 843
Identification reconstructive à partir des dents 854
C) Questions complémentaires : les particularités, les signes particuliers 882
*1) Particularités anatomiques* 882
*2) Particularités physiologiques* 883
Côté dominant 883
Développement musculaire important 884
Parturition 885
*3) Particularités pathologiques* 890
Pathologies ostéo-articulaires 890
Pathologies dentaires 924
Divers 926
*4) Particularités culturelles* 926
Accroupissement (squatting) 926
Agenouillement (kneeling) 927
Sports 927
*5) Particularités sociales* 928
*6) Particularités professionnelles* 928
*7) Particularités cultuelles* 928
D) Les quatre fondamentaux de l'identification reconstructive : synthèse 931
*1) Sexe : synthèse* 931
*2) Âge : synthèse* 933
Introduction 933
Estimation de l'âge fœtal 935
Détermination de l'âge de la naissance jusqu'à l'adolescence 958
Passage de l'adolescence à l'âge adulte 1006
Estimation de l'âge chez l'adulte 1021
Réflexions sur l'estimation de l'âge chez l'adulte 1026
Approche pratique, approche holistique 1028
*3) Origine géographique : synthèse* 1029
*4) Stature : synthèse* 1032
Introduction 1032
Mesure de la stature à partir du corps frais, décomposé, ou en partie squelettisé, en salle d'autopsie 1033
Estimation de la stature à partir des os longs des membres 1033
Estimation de la stature à partir du rachis 1040
Estimation de la stature à partir de fragments d'os longs 1042
Estimation de la stature à partir de fragments de corps 1054
Estimation de la stature à partir de divers os 1055

**2.3. Identification comparative** 1070

**Introduction** 1070

**2.3.1. La comparaison par empreintes digitales** 1070
A) Introduction 1070
B) Les qualités intrinsèques des dermatoglyphes 1071
C) Morphologies observables 1072
*1) Morphologie générale (niveau 1)* 1072
*2) Morphologie locale (niveau 2)* 1074
*3) Morphologie fine (niveau 3)* 1074
D) Classement des empreintes digitales 1074
*1) Classement décadactylaire* 1074
*2) Classement monodactylaire* 1075
E) La comparaison des empreintes digitales 1075
F) Les empreintes palmo-plantaires 1077
G) Relèvement et révélation des empreintes digitales 1077
*1) Relèvement (empreinte patente)* 1077
*2) Révélation (empreinte latente)* 1079
H) Empreintes digitales et ADN 1080
I) Le cas particulier de la révélation des empreintes digitales sur la peau de la victime 1080

**2.3.2. Les comparaisons radiologiques** 1082
A) Introduction 1082
B) Localisations anatomiques utilisées 1082
*1) Crâne* 1082
Sinus frontal 1082
Critères retenus pour affirmer l'identité positive (absolue) 1085
Autres comparaisons crâniennes en dehors du sinus frontal 1087
*2) Régions anatomiques extra-crâniennes* 1087
C) Identification absolue par comparaison des travées osseuses 1088
D) Exclusion d'identité 1088

**2.3.3. Comparaisons odontologiques. Identification comparative bucco-dentaire** 1093
A) Identification comparative dentaire 1093
B) Cheiloscopie 1100
C) Rugoscopie 1102
D) Tori et malformations congénitales 1104
E) Morsures 1104

**2.3.4. Les comparaisons génétiques. L'ADN en médecine légale** 1106
A) Introduction 1106
B) Bases juridiques 1109
C) ADN nucléaire, le polymorphisme de taille 1111
*1) Comparaison de la taille des fragments de restriction* 1111
*2) Amplification génique* 1111
D) ADN mitochondrial, le polymorphisme de site 1112
E) Détermination du sexe à partir de l'ADN 1113
F) Les prélèvements 1114
*1) Sang* 1114
*2) Sperme* 1114
*3) Salive et cellules buccales* 1115
*4) Poils et cheveux* 1115
*5) Prélèvements sous-unguéaux* 1116
*6) Prélèvements d'ADN de contact* 1116
*7) Tissus mous* 1116

*8) Os et dents* 1116
*9) Corps fragmentés (dépeçage, catastrophe)* 1117
*10) Prélèvements ADN sur le suspect* 1117
*11) Lieux de découverte du corps, lieux de délits ou crimes, prélèvements divers* 1117
*12) Altération du corps* 1117
G) Utilisation de l'identification ADN en médecine légale 1118
*1) Identification absolue* 1118
Comparaison entre un prélèvement réalisé sur la victime et le suspect 1118
Comparaison entre un prélèvement réalisé sur la victime et le FNAEG 1118
Comparaison entre une tache ou trace biologique prélevée sur les lieux d'un délit ou d'un crime et une victime disparue, ou un suspect, ou le FNAEG 1118
Identification de fragments 1118
Cadavre non identifié 1119
*2) Paternité et filiation* 1119
*3) Parenté plus ou moins lointaine* 1119
*4) Identification du sexe et de l'espèce* 1119
H) Difficultés et problèmes d'interprétation 1119
*1) Probabilité que deux individus aient le même profil génétique* 1119
*2) Limites techniques* 1120
*3) Limites juridiques* 1122

**2.3.5. Les comparaisons diverses** 1122

**2.4. Identification spécialisée crânio-faciale** 1133

**2.4.1. Introduction** 1133

**2.4.2. La superposition faciale** 1133

**2.4.3. La restauration faciale** 1136

**2.4.4. La reconstruction faciale** 1138
A) Analyses préliminaires anthropologiques et odontologiques 1139
B) Épaisseurs des tissus mous 1142
C) Méthodes bidimensionnelles manuelles 1143
D) Méthodes tridimensionnelles manuelles 1144
E) Méthodes informatisées 2D et 3D 1147
F) Validation scientifique de la reconstruction faciale 1149

**2.4.5. La comparaison d'images** 1149
A) Problèmes techniques 1150
B) Méthode qualitative 1150
C) Méthodes quantitatives 1150

**2.4.6. Le vieillissement du visage d'un enfant disparu ou éventuellement d'un adulte** 1151

**2.4.7. Mécanismes de reconnaissance des visages** 1152
A) Caractéristiques et variations de la reconnaissance des visages 1152
B) Modélisation 1152

**2.4.8. Conclusions** 1153

**2.5. Examens complémentaires utiles en anthropologie médico-légale** 1160

**2.5.1. Entomologie médico-légale** 1160
A) Introduction 1160
B) Généralités et définitions 1162
C) Les escouades classiques : la conception historique 1163
D) Les conceptions modernes 1164
E) Facteurs de variations 1166
F) L'expertise entomologique 1169
G) Autres utilisations de l'entomologie médico-légale 1169

**2.5.2. Anatomo-pathologie** 1170

**2.5.3. Toxicologie et anthropologie** 1171

**2.5.4. Estimation de l'âge au décès par la technique des ostéons** 1172
A) Introduction 1172
B) Évolution ostéonique 1172
C) Méthodes 1172

**2.5.5. Les diatomées** 1176

**2.5.6. Botanique médico-légale** 1180
A) Introduction 1180
B) Identification de résidus végétaux retrouvés sur ou chez le suspect, en comparaison avec les végétaux retrouvés sur la victime ou sur la scène de crime 1181
*1) Changement de lieu de la victime, du corps ou de ses vêtements* 1181
*2) Suicide, crime, ou accident ?* 1181
*3) Lien entre une arme, un vêtement, et la victime* 1182
C) Estimation du délai *post mortem* 1182

## Chapitre 3

## *Anthropologie lésionnelle* 1189

**3.1. Nature *ante mortem*, *péri mortem*, ou *post mortem* des lésions** 1189

**3.1.1. Introduction** 1189

**3.1.2. Lésions *ante mortem*** 1191
A) Lésions traumatiques *ante mortem* 1191
B) Pathologies congénitales ou acquises 1195

**3.1.3. Lésions *péri mortem*** 1199
A) Processus inflammatoire 1200
B) Colorations 1200
C) Critères morphologiques 1201
*1) Caractères des fractures survenant sur os vert* 1201
*2) Type de fractures* 1203
D) Mécanismes élémentaires 1204

**3.1.4. Lésions *post mortem*** 1206
A) De l'os vert à l'os sec 1206
B) Caractéristiques des fractures et lésions survenant sur os sec 1207
C) Exposition de l'os à l'environnement 1208
D) Stades d'altération osseuse *post mortem* 1208

**3.1.5. Classification des lésions *post mortem*** 1209
A) Altérations géologiques 1209
B) Altérations climatiques 1210
C) Altérations botaniques 1213
D) Altérations animales 1213
E) Altérations humaines 1217
*1) Exhumation des restes* 1217
*2) Collecte initiale, conditionnement, transport* 1218
*3) Lésions autopsiques* 1218
*4) Préparation et nettoyage des os* 1218
*5) Activités humaines délinquantielles ou criminelles* 1219

**3.2. Lésions élémentaires** 1225

**3.2.1. Les lésions par projectiles d'armes à feu** 1225
A) Balistique non lésionnelle 1225
*1) Les armes* 1225
*2) Les charges* 1228
Canons rayés : les balles 1228
Canons lisses : les plombs, les chevrotines, les balles de chasse 1239
B) Balistique lésionnelle 1241
*1) Lésions des parties molles* 1241
Lésions par balles 1241
Lésions par armes de chasse 1249
C) Vêtements 1254
*1) Distance de tir* 1254
*2) Direction du tir* 1255
*3) Autres* 1255
D) Lésions osseuses 1256
*1) Introduction* 1256
*2) Crâne* 1258
Entrées crâniennes 1258
Sorties crâniennes 1265
Défect parcellaire 1268
Lésions crâniennes tangentielles 1268
*3) Lésions post-crâniennes* 1273
Os longs 1273
Côtes 1274
Vertèbres 1275
Divers 1276
*4) Le trajet du projectile* 1276
*5) Les fractures* 1278
*6) Résidus de tir autour de l'orifice osseux* 1282
*7) Radiologie* 1282
E) Aspects médico-légaux 1288
*1) Problèmes balistiques* 1288
Direction générale du tir 1288
Angle de tir 1288
Trajet 1290
Distance de tir 1290
Calibre 1292
Identification de l'arme qui a tiré 1293
Identification du tireur 1295
Expertise de l'arme suspecte 1297
*2) Cause et circonstances du décès* 1298
Sévérité des lésions 1298
Hémorragie 1299
Cause du décès 1299
Survie : délai de survie, actes de survie 1300
« Incapacitation » : immédiate ou retardée 1301
Forme médico-légale de la mort 1301
Ricochet externe 1302
Circonstances entourant la mort 1302

**3.2.2. Les lésions tranchantes pures** 1308
A) Introduction 1308
B) Le mécanisme tranchant pur, les armes 1309
C) Effets des instruments tranchants sur les parties molles 1313
D) Les lésions osseuses 1315
*1) Lésions rapportées dans la littérature* 1315
*2) Classification des lésions osseuses tranchantes pures* 1317
Introduction 1317
Lésions coupantes 1317
Lésions piquantes 1320
*3) Les lésions tranchantes contondantes* 1323
*4) Apport de la microscopie* 1323
*5) Cause et circonstances du décès* 1324

**3.2.3. Les lésions contondantes et tranchantes contondantes en anthropologie médico-légale** 1326
A) Introduction 1326
B) Les lésions contondantes observées sur les tissus mous 1328
C) Lésions contondantes observées sur les os 1331
*1) Les ecchymoses osseuses* 1331
*2) Les fractures* 1332
*3) Les luxations* 1334
D) Les lésions crânio-faciales 1335
*1) Lésions crâniennes* 1335
Introduction 1335
Piliers, zones de renforcement, zones de faiblesse 1336
« L'indentation » : il s'agit de la lésion au point d'impact 1338
La dispersion (de l'énergie cinétique) : elle entraîne des fractures 1343
La compression : elle est marquée par la déformation plastique 1350
Facteurs intervenant dans la sévérité lésionnelle 1353
Le continuum entre lésions tranchantes et lésions contondantes 1356
Localisation des fractures crâniennes 1362
*2) Lésions faciales* 1364
Biomécanique maxillofaciale 1364
Fractures mandibulaires 1366
Fractures maxillaires 1368
Fractures alvéolo-dentaires 1371
Fractures centrofaciales 1372
Fractures latéro-faciales 1374
Fractures étendues 1375
*3) Complications des traumatismes crânio-faciaux* 1376
E) Os longs 1376
*1) Mécanismes* 1376
Tension et compression 1376
Mécanismes élémentaires 1378
Traumatisme « direct » ou « indirect » 1379
*2) Classifications des fractures* 1380
F) Fractures des ceintures et des membres 1381
*1) Ceinture scapulaire* 1382
Clavicule 1382
Scapula 1382
*2) Membres supérieurs* 1383
Humérus proximal 1383
Diaphyse humérale 1385
Fractures humérales distales 1385
Coude 1386
Avant-bras 1387
Poignet 1387

Fractures de la main 1388
Fractures des métacarpiens 1389
Fractures des phalanges 1390
Luxations des doigts 1390
*3) Ceinture pelvienne* 1391
Fractures n'interrompant pas la continuité de l'anneau pelvien 1391
Fractures interrompant la continuité de l'anneau pelvien 1391
Fractures de l'acétabulum 1392
Luxations de hanche 1393
*4) Membres inférieurs* 1393
Fémur 1393
Fractures de l'extrémité supérieure du fémur 1393
Fractures de la tête fémorale (intracapsulaires) 1396
Fractures du col (intracapsulaires) 1396
Fractures basicervicales (extracapsulaires) et intertrochantériennes 1396
Fractures isolées du grand et du petit trochanter 1397
Fractures sous-trochantériennes 1397
Fractures de la diaphyse fémorale 1397
Fractures du genou 1398
Luxations de la rotule 1399
Luxations du genou 1399
Luxations tibio-péronéales proximales 1399
Fractures du plateau tibial 1399
Fractures diaphysaires de jambe (tibia et/ou fibula) 1400
Fractures du pilon tibial (ou plafond tibial) 1402
Fractures de la cheville 1402
Pied 1403
G) Lésions des vertèbres 1406
*1) Lésions du rachis cervical* 1406
Entorses et luxations du rachis cervical supérieur 1406
Fractures du rachis cervical supérieur 1407
Lésions du rachis cervical inférieur 1407
*2) Lésions du rachis dorso-lombaire* 1409
Mécanismes 1409
*3) Fractures sacrées* 1411
H) Sternum et côtes 1411
I) Traumatismes bucco-dentaires 1412
*1) Parties molles* 1412
*2) Dents* 1412

**3.2.4. Les os brûlés. Les lésions de carbonisation** 1421
A) Introduction 1421
*1) Fréquence et causes des incendies* 1421
*2) Comment définir un incendie* 1422
*3) Températures d'un foyer d'incendie* 1422
*4) Classification des brûlures* 1425
*5) Investigations multidisciplinaires* 1426
*6) Importance de la levée de corps sur place* 1426
*7) Problèmes médico-légaux* 1427
*8) Recherche en matière d'os brûlés et de carbonisation* 1428
B) Brûlures des tissus mous 1430
C) Levée de corps 1431
*1) L'environnement* 1431
*2) La relative préservation par les vêtements* 1431
*3) Le corps* 1431
D) Chronologie de la crémation 1432
E) Aspects anthropologiques 1434
*1) Carbonisation discrète et partielle : l'autopsie classique est possible* 1434
Parties molles et phanères 1434
Parties dures 1436
*2) Carbonisation sévère (ou avancée), voire carbonisation « complète », « totale » : l'autopsie classique n'est plus possible* 1451
*3) Variations* 1452
*4) Aspects attendus d'une carbonisation* 1452
Attitude pugilistique 1452
Bouclier thermique 1453
Alimentation en oxygène 1454
Schéma général de l'altération thermique 1454
*5) Schémas inattendus de la carbonisation* 1454
F) Altérations des dents et des matériaux dentaires 1457
G) Fractures *péri mortem versus* fractures *post mortem* dans les carbonisations 1458
H) Microscopie des os et dents brûlés 1460
I) Examens complémentaires 1463
J) Problèmes médico-légaux 1464
*1) Identification* 1464
*2) Le sujet était-il vivant dans le foyer d'incendie ?* 1467
*3) La température du foyer* 1468
*4) L'incendie est-il survenu sur place, ou les restes carbonisés ont-ils été redisposés ?* 1468
*5) Os avec parties molles, os vert sans parties molles, ou os sec* 1469
*6) Le corps a-t-il été démembré avant incinération ?* 1471
*7) Position du corps lors de l'incinération* 1472
*8) Toxicologie des carbonisations* 1472
*9) Cause et rapidité du décès dans les carbonisations* 1473
*10) Forme médico-légale du décès* 1474
Introduction 1474
Accident 1475
Homicide 1475
Suicide 1477
« Autocombustion », combustion humaine « spontanée » 1477

**3.3. Lésions complexes** 1486

**3.3.1. Maltraitance envers les enfants** 1486
A) Introduction 1486
B) Les victimes et les agresseurs 1487
C) Lésions non osseuses 1487
D) Lésions osseuses 1488
*1) Introduction* 1488
*2) Mécanismes généraux et localisations* 1489
*3) Aspects lésionnels* 1491
Introduction 1491
Os longs 1492
Côtes 1494
Crâne 1494
Autres localisations 1496
*4) Mauvaise évolution des fractures* 1496
*5) Retards ou interruptions de croissance* 1496
*6) Datation des fractures* 1497
E) Les aspects médico-légaux 1498
*1) Diagnostic positif de maltraitance* 1498
*2) Diagnostic différentiel de la maltraitance* 1500
Maltraitance ou accident ? 1500
Variantes anatomiques (radiologiques) 1502
Fragilités osseuses constitutionnelles ou acquises 1502

**3.3.2. Le meurtre ou l'assassinat du nouveau-né ou du nourrisson** 1511
A) Introduction 1511

B) Expertise de la mère 1512
C) Expertise de l'enfant 1512
*1) Levée de corps et autopsie* 1512
*2) Estimation de l'âge gestationnel* 1513
L'enfant est-il né à terme ? 1513
Sinon, quel est son âge gestationnel ? 1514
*3) Viabilité* 1522
*4) Vitalité* 1522
L'enfant a-t-il vécu ? : les critères de vitalité 1522
Combien de temps l'enfant a-t-il vécu après la naissance ? 1525
*5) Quelle est la cause de la mort du nouveau-né ?* 1526
Introduction 1526
Morts naturelles 1526
Morts accidentelles 1532
Action ou omission volontaire à l'origine du décès 1532
*6) Dissimulation du corps et identification* 1536

**3.3.3. Asphyxies mécaniques** 1538
A) Introduction 1538
B) Pendaisons 1542
C) Strangulations 1548
*1) Introduction* 1548
*2) Strangulation au lien* 1548
*3) Strangulation manuelle* 1550
D) Impacts directs au niveau du cou et autres causes de lésions de l'os hyoïde et du larynx 1553
E) Suffocations, submersions, enfouissement, enlisement, confinement 1554

**3.3.4. Explosions** 1560
A) Introduction 1560
B) Lésions observées 1560
*1) Morcellement des corps* 1560
*2) Brûlures* 1560
*3) Air blast* 1561
Physiopathologie 1561
Lésions observées 1562
Causes du décès dans un air blast 1562
*4) Missiles secondaires* 1563
*5) Autres causes des lésions* 1563
C) Problèmes médico-légaux 1563
*1) Nombre de victimes* 1563
*2) Identification* 1564
*3) Cause de la mort* 1564
*4) Distance des victimes par rapport au centre de l'explosion* 1564
*5) L'expertise en explosifs* 1564
D) Formes particulières 1565
*1) Immersion blast* 1565
*2) Solid blast* 1565

**3.3.5. Décès collectifs** 1567
A) Introduction 1567
B) Aspects généraux de l'organisation 1567
*1) Interventions sur place* 1567
*2) Le travail en salles d'autopsies* 1568
*3) La documentation* 1568
C) Catastrophes de masse 1568
D) Assassinats de masse 1570

**3.3.6. Dépeçages et démembrements** 1575
A) Introduction 1575
B) Instruments utilisés pour le dépeçage 1578
C) Méthodologie générale d'étude des dépeçages 1579
*1) Introduction* 1579
*2) Observation générale des parties de corps* 1579
*3) Étude des vêtements* 1580
*4) Radiologie* 1581
*5) Stature* 1581
*6) Sexe* 1581
*7) Âge* 1582
*8) Groupe biologique* 1582
*9) Particularités physiologiques, pathologiques, professionnelles, culturelles, cultuelles* 1582
*10) Techniques spécialisées* 1582
*11) Identification comparative* 1582
D) Les traces laissées par les scies 1583
*1) Introduction* 1583
*2) Classification des scies* 1584
*3) Zones d'intérêt* 1587
*4) Lésions élémentaires laissées par les scies* 1588
*5) Caractéristiques individuelles* 1593
E) Problèmes médico-légaux 1593
*1) Identification* 1593
*2) Anthropologie lésionnelle* 1594
*3) Psychologie des dépeceurs* 1595

## Chapitre 4

*Annexe 1. Points anthropologiques* 1601

**I. Points anthropologiques osseux (par ordre alphabétique) (Fig. 4.1 à 4.5)** 1601

**II. Points anthropologiques tissulaires (les définitions correspondent à l'utilisation dans la reconstruction faciale) (Fig. 4.6)** 1604

*Annexe 2. Formes et variantes du crâne* 1609

*Annexe 3. Foramens, ouvertures et contenus de la tête osseuse* 1611

*Annexe 4. Les principaux « S » osseux permettant la latéralisation* 1615

*Annexe 5. Poids des os* 1617

*Annexe 6. Estimation de la stature* 1623

*Annexe 7. La « méthode complexe » d'estimation d'âge* 1633

*Annexe 8. Odontologie* 1645

*Annexe 9. Les escouades entomologiques* 1665

*Annexe 10. Unités* 1671

*Annexe 11. Le Code Pénal français* 1673

I. Introduction 1673

II. Trois notions essentielles : prescriptions, récidive, irresponsabilisation pénale 1673

III. Principales infractions contenues dans le Code Pénal 1675

IV. Secret professionnel 1685

*Annexe 12. Analyse de la Recommandation européenne R99(3) en matière d'autopsies judiciaires* 1693

I. Considérations préliminaires 1693

II. L'analyse technique de la recommandation 1694

III. Le rapport d'autopsie 1703

IV. L'assurance qualité 1704

V. Conclusions 1704

*Annexe 13. Les os humains adultes* 1709

*Annexe 14. Schémas corporels utiles au rapport expertal* 1711

*Liste des figures* 1769

*Liste des tableaux* 1805

*Index* 1835

Gérald Quatrehomme

# Traité d'anthropologie médico-légale

## Au carrefour de plusieurs disciplines

La médecine légale, au carrefour de la Médecine, de la Justice et de la Société, est une discipline indispensable. Son champ d'investigation très large, mais également ses limites, sont très méconnus du grand public. L'anthropologie médico-légale, à l'interface de l'anthropologie physique classique et de la médecine légale, est encore plus méconnue, et en pleine évolution.

## L'anthropologie médico-légale est devenue incontournable dans l'investigation médico-légale des crimes ou des morts suspectes

L'anthropologie médico-légale est utilisée lors de la découverte de squelettes, mais également chaque fois qu'un corps médico-légal est altéré par un processus quelconque (par exemple décomposition, momification, carbonisation, mutilations du corps), et de plus en plus sur les prélèvements osseux pratiqués au cours des autopsies classiques. L'anthropologie médico-légale a un double objectif : identification et interprétation médico-légale des cause(s) et circonstances du décès. Elle amène des éléments complémentaires parfois déterminants dans la compréhension des circonstances du traumatisme (mécanisme, direction, violence).

La déposition en Cour d'Assises, dans une affaire où l'anthropologie médico-légale a été utilisée, démontre sa subtilité, sa difficulté, ses certitudes mais également ses incertitudes.

## Un ouvrage sans équivalent

Cet ouvrage offre un panorama de l'expertise anthropologique médico-légale de terrain, avec une suite de questions pratiques qui doivent être abordées dans un ordre logique, et résolues avant la déposition en Cour d'Assises. Il ouvre également de nombreuses voies de réflexion et de recherche.

L'ouvrage est destiné aux médecins légistes, anthropologues, odontologistes, radiologues, biologistes médico-légaux, et scientifiques de toutes disciplines ; mais également aux magistrats, aux policiers, gendarmes et techniciens de la scène de crime.

Gérald Quatrehomme est Docteur en médecine et Docteur es Sciences. Il dirige l'Institut médico-légal et l'Unité médico-judiciaire au CHU de Nice, le Laboratoire d'Anthropologie médico-légale, mais également le service de soins de la Maison d'Arrêt et du Centre de Rétention Administrative. Après une spécialisation médicale en neurologie, puis en anatomo-pathologie, il est devenu médecin légiste et Professeur de Médecine Légale et Droit de la Santé. Il organise, depuis 1999, le « Congrès d'Anthropologie médico-légale de Nice », seule rencontre scientifique entièrement consacrée à cette discipline. Il a écrit de nombreux articles internationaux et chapitres de livres.

Révision scientifique de Jean-Pol Beauthier et Philippe Lefèvre (Laboratoire d'Anatomie, de Biomécanique et d'Organogenèse - Faculté de Médecine - Université Libre de Bruxelles).

Schémas de Benjamin Maes

- **Traité d'anthropologie médico-légale le plus complet en langue française**
- **Plus de 900 photographies et illustrations en couleur.**
- **Plus de 1 200 tableaux synthétiques.**

ISBN : 978-2-8041-8469-8

9 782804 184698

ANMELE

de boeck

www.deboeck.com

Conception graphique : Primo&Primo®
illu : © Pixelwolf - Fotolia.com
Fly designed by Felipe Perucho - Gun by Simon Child from the thenounproject.com